

Desenvolvimento de Sistema Automático para Colocar e Retirar Garrafas de Gás de Transportador Aéreo

AMTROL-ALFA

Ana Rita Silva Ribeiro

Dissertação do MIEM

Orientador na AMTROL-ALFA: Engenheiro Vitor Silva

Orientador na FEUP: Prof. Francisco Freitas



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Novembro de 2013

Para a minha avó, que ainda assistiu ao início deste projeto.

Tinhas razão, vim mesmo parar à Alfa!

Resumo

Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema automático para colocar e retirar garrafas de gás de um transportador aéreo. Esta é uma tarefa que tem vindo a ser feita manualmente, tendo a si associada o risco de o operador contrair lesões músculo-esqueléticas devido ao manuseamento de cargas elevadas. Este risco, associado à repetibilidade do processo, levou a AMTROL-ALFA a considerar que o operador deveria ser totalmente substituído por uma máquina capaz de realizar a tarefa automaticamente.

O sistema foi construído para a linha de acabamento de uma das primeiras fábricas da empresa, mas foi-lhe atribuída, através do *design*, uma capacidade considerável de adaptação a outras linhas de produção ou acabamento.

Assim, foi desenvolvido um sistema desde o projeto mecânico a um anteprojecto de automação, criando-se uma solução viável para realizar as tarefas cumprindo as especificações definidas. Estas prenderam-se maioritariamente com as características das garrafas a serem transportadas, os tempos de ciclo e ainda as alterações ao espaço envolvente aos postos onde os equipamentos serão implementados.

No final concluiu-se que os tempos de ciclo da linha de acabamento ficam plenamente cumpridos com a introdução destes equipamentos e, dessa forma, será possível substituir a mão-de-obra com uma flexibilidade adequada e com benefício para a empresa, na medida em que o operador deixa de estar sujeito a uma situação que pode ser prejudicial à sua saúde.

Development of an automatic LPG cylinder loader and unloader off an air conveyor

Abstract

The aim of this work is the development of an automatic system for loading and unloading LPG (Liquefied Petroleum Gas) cylinders off an overhead conveyor. This is a task that has been made manually and hence the operator is exposed to a health risk situation due to the handling of heavy loads. This risk, associated with the repeatability of the process, led AMTROL-ALFA to consider that the operator should be completely replaced by an adequate solution that would perform the task automatically.

The system was built for a finishing line in one of the earliest plants of the company, though it has designed to have a considerable adaptability to other finishing or production lines.

A mechanical project was developed, from the specification stage to the first stages of the automation project. This way, a viable solution was created following all the initial specifications. These specifications were related mainly with the cylinders characteristics, the cycle times and the changes to the surroundings where the equipment would be implemented.

With the introduction of this equipment, the finishing line cycle times have been totally met. By doing so, it will be possible to replace man power with adequate flexibility and added value to the company, by removing a hazardous situation with the workers from this finishing line.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professor Francisco Freitas e Engenheiro Vitor Silva, pelo que me ensinaram, pelo apoio que me deram e, principalmente, pelo que me fizeram aprender. Tê-los como orientadores fez com que este semestre fosse aquele em que mais aprendi e que esta dissertação seja motivo de orgulho.

Ao Engenheiro José Portocarrero, que me abriu as portas e me acolheu, sendo o primeiro a permitir-me entrar no mundo de trabalho, ainda para aprender.

Ao Sr. Lima, sem o qual este trabalho teria sido arduamente mais difícil. O conhecimento que partilhou comigo ajudou-me no desenvolvimento desta dissertação e tornou-me uma engenheira mais completa.

A toda a equipa de manutenção da AMTROL-ALFA nas pessoas do Sr. Fernando, Sr. Moisés, Sr. Elídio e Sr. Serafim, que nunca deixaram de estar disponíveis para me ajudar. Pela simpatia, esclarecimentos e ensinamentos que foram importantes para esta tese e para o meu futuro profissional.

À Engenheira Daniela, que com a sua simpatia e a forma como me integrou, fez com que os dias na AMTROL-ALFA fossem bem mais fáceis.

À D. Isabel Maria pela simpatia, disponibilidade, preocupação e companhia nas viagens para o Porto.

Aos meus colegas de laboratório, Jorge, Pedro, Rafael e Sérgio, e ao Sr. Joaquim por toda a paciência que tiveram para me aturar nos dias de trabalho na FEUP e pela ajuda preciosa que me deram em momentos de muitas dúvidas.

Aos meus pais, pela paciência que tiveram comigo nestes cinco anos, por me terem permitido seguir o meu sonho e terem vivido sem mim dias em que, com certeza, sentiram a minha falta. À minha mãe em específico, pelas conversas de ânimo quando esta dissertação já parecia não ter qualquer sentido.

À Helena e ao Carlos, que tiveram as portas da sua casa sempre abertas para mim. Partilharam comigo a sua casa e as suas coisas e permitiram que os meus dias no Porto fossem passados em família.

Por último, exatamente pela sua importância, ao meu namorado, Tiago Barrigana. As suas críticas e desafios levaram-me a um trabalho melhor do que o que teria sido capaz sem o seu apoio. Foi o meu exemplo e sem ele nunca teria tido a força para ultrapassar as minhas maiores dificuldades.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da AMTROL-ALFA	1
1.2	O Projeto na AMTROL-ALFA.....	2
1.3	Motivação para o projeto	4
1.4	Objetivos	4
1.5	Organização e temas abordados no presente relatório	5
2	Especificação Técnica do Projeto.....	7
2.1	Especificações gerais do projeto	7
2.2	Especificações das garrafas a transportar	7
2.3	Especificações dos tempos de ciclo	9
2.4	Especificações de construção.....	9
3	Análise de Sistemas de Elevação Automáticos Existentes na AMTROL-ALFA	13
3.1	Sistema aplicado na Fábrica #2	13
3.1.1	Descrição geral	13
3.1.2	Definição do conjunto pendural e espiga	15
3.1.3	Sensores/Detetores Utilizados	16
3.1.4	Garrafas a Transportar	17
3.1.5	Tempos de Ciclo	17
3.1.6	Outras Especificações.....	17
3.2	Sistema aplicado na Fábrica #3	18
3.2.1	Descrição Geral	18
3.2.2	Definição do conjunto pendural e espiga	19
3.2.3	Sensores/Detetores utilizados	20
3.2.4	Garrafas a Transportar	21
3.2.5	Tempos de Ciclo	21
3.2.6	Outras Especificações.....	21
3.3	Sistema aplicado na Fábrica #5	22
3.3.1	Descrição geral	22
3.3.2	Definição do conjunto pendural e espiga	23
3.3.3	Garrafas a Transportar	23
3.3.4	Tempos de Ciclo	24

3.3.5	Outras Especificações	24
3.4	Sistemas Aplicados na Fábrica #1 – Sistemas de Auxílio.....	25
3.5	Síntese e comparação dos diferentes sistemas	25
3.5.1	Caraterísticas das garrafas a transportar.....	25
3.5.2	Disponibilização das garrafas ao sistema de colocação de garrafas no transportador aéreo.....	26
3.5.3	Sistema de transporte aéreo.....	26
3.5.4	Diferenças especificadas no posicionamento e bloqueio dos pendurais	27
3.5.5	Disponibilização das garrafas após serem retiradas do transportador aéreo.....	27
4	Desenvolvimento dos elementos mecânicos do sistema e espaço envolvente.....	29
4.1	Definição básica dos movimentos a integrar na solução.....	29
4.1.1	Solução 1.....	29
4.1.2	Solução 2.....	33
4.1.3	Análise das soluções propostas	38
4.2	Escolha dos acionamentos dos movimentos principais.....	40
4.3	Desenvolvimento do sistema.....	40
4.3.1	Estrutura de apoio aos diversos elementos	40
4.3.2	Garra.....	41
4.3.3	Fuso.....	45
4.3.4	Motor.....	51
4.3.5	Guias Lineares e Patins de Guiamento	52
4.4	Análise Estrutural da Garra	52
4.4.1	Elementos da estrutura a analisar e propriedades mecânicas atribuídas	53
4.4.2	Condições de fronteira e de contacto e cargas aplicadas	53
4.4.3	Resultados e respetiva análise.....	55
4.5	Projeto do espaço envolvente	60
4.5.1	Posto de colocação das garrafas no transportador aéreo	60
4.5.2	Posto de retiro das garrafas do transportador aéreo	64
4.6	Alterações ao conjunto espiga/pendural.....	65
5	Automação do equipamento.....	67
5.1	Elementos de comando.....	67
5.1.1	Comando e Controlo do Servomotor	67
5.1.2	Válvulas direcionais e reguladores de pressão.....	68
5.2	Detetores.....	72

5.2.1	Sistema Principal – Servomotor e fuso	72
5.2.2	Garra	72
5.2.3	Transportador aéreo	73
5.2.4	Transportador de correntes	74
5.2.5	Transportador de rolos	74
5.3	Análise e procedimentos de segurança	75
5.4	GRAFCETs	79
5.4.1	Modos de funcionamento	79
5.4.2	Estados de emergência	81
5.5	Autômato e Interface Homem-máquina	82
5.5.1	PLC	82
5.5.2	HMI	82
5.6	Circuito elétrico	83
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	87
6.1	Conclusões	87
6.2	Trabalhos futuros	88
7	Referências e Bibliografia	89
8	Anexos	91
ANEXO A: Desenhos 2D dos sistemas já existentes na AMTROL-ALFA		93
ANEXO B: Desenhos de Definição de Conjunto do Sistema a Desenvolver		95
ANEXO C: Cálculo dos rolamentos		97
ANEXO D: Esquema e numeração dos detetores a integrar nas soluções		99
ANEXO E: Análise e avaliação de riscos		101
ANEXO F: GRAFCETs		103
ANEXO G: Esquemas elétricos		105

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Vista aérea da unidade industrial da AMTROL-ALFA (AMTROL-ALFA, 2012)	2
Figura 1.2 – Designação dos diferentes elementos constituintes de uma garrafa	2
Figura 1.3 - Tarefa manual de colocar garrafas de menor altura no transportador aéreo na linha de acabamento da Fábrica #1	3
Figura 1.4 – Tarefa manual de retirar garrafas de maior altura do transportador aéreo na linha de acabamento da Fábrica #1	3
Figura 1.5 – Nomenclaturas utilizadas na empresa	4
Figura 2.1 – Garrafas que limitam a altura mínima, a) G26.2, e máxima, b) G88	8
Figura 2.2 – Saída do posto de metalização	10
Figura 2.3 – Mudança de posição da garrafa	10
Figura 2.4 – Tapete de correntes	10
Figura 2.5 – Pormenor do batente das garrafas	10
Figura 2.6 – Tapete de rolos que sucede ao posto de descarga das garrafas do transportador aéreo	11
Figura 2.7 – Espiga e pendural aconselhados pela AMTROL-ALFA para utilização na linha de acabamento da Fábrica #1	11
Figura 3.1 – Esquema do sistema de colocação de garrafas da Fábrica #2	14
Figura 3.2 – Pormenor do travão do pendural rotativo	15
Figura 3.3 – Sequência de movimento dos braços do sistema de retirar garrafas da Fábrica #2	15
Figura 3.4 – Espiga utilizada no sistema da Fábrica #2	16
Figura 3.5 – Pendural utilizado no sistema da Fábrica #2	16
Figura 3.6 – Travão do sistema de colocação de garrafas da Fábrica #2	18
Figura 3.7 – Sistema de orientação dos pendurais rotativos	18
Figura 3.8 – Sistema para retirar garrafas utilizado na fábrica #3	19
Figura 3.9 – Pormenor do braço que retira as garrafas do transportador na fábrica #3	19
Figura 3.10 – Pendural utilizado na fábrica #3	20
Figura 3.11 – Conjunto espiga/pendural utilizados na fábrica #3	20
Figura 3.12 – Sistema de colocação das garrafas no transportador aéreo da fábrica #5	22
Figura 3.13 – Detalhe do cilindro pneumático de acionamento de um dos braços	22
Figura 3.14 – Caixa do pendural utilizado na linha da fábrica #5	23

Figura 3.15 – Espiga aplicada nas garrafas em produção na fábrica #5	23
Figura 3.16 – Sistema que precede o posto de colocação das garrafas no transportador aéreo	24
Figura 3.17 – Elevador situado no final da linha de fabrico da fábrica #1	25
Figura 3.18 – Disponibilização das garrafas ao sistema de colocação das garrafas no transportador	26
Figura 4.1 – Fecho da garra (ou sistema semelhante) sobre a espiga	30
Figura 4.2 – Elevação da garrafa até ao ponto de acoplamento.....	30
Figura 4.3 – Espera pela chegada do pendural ao ponto de acoplamento	30
Figura 4.4 – Descida a baixa velocidade para encaixe da espiga no pendural	30
Figura 4.5 – Abertura da garra (ou sistema semelhante)	31
Figura 4.6 – Retorno do sistema à posição inicial	31
Figura 4.7 – Queda de uma garrafa cujo acoplamento foi mal sucedido.....	31
Figura 4.8 - Fecho da garra (ou sistema semelhante) sobre a espiga.....	33
Figura 4.9 – Movimentos vertical e horizontal simultâneos	34
Figura 4.10 – Confirmação do correto posicionamento do pendural.....	34
Figura 4.11 – Acoplamento da espiga ao pendural	34
Figura 4.12 – Abertura da garra (ou sistema semelhante) e desativação de elemento de posicionamento do pendural	34
Figura 4.13 – Retorno à posição inicial	35
Figura 4.14 – Detecção da falha no posicionamento do pendural relativamente à espiga	35
Figura 4.15 – Descida da garrafa até ao <i>buffer</i>	36
Figura 4.16 - Abertura da garra (ou sistema semelhante)	36
Figura 4.17 – Avanço da garrafa no <i>buffer</i> e retorno do sistema à posição inicial.....	36
Figura 4.18 – Esquema da primeira hipótese de construção escolhida para a estrutura	41
Figura 4.19 – Esquema da segunda hipótese de construção escolhida para a estrutura (semelhante ao sistemas existentes na AMTROL-ALFA)	41
Figura 4.20 – Sequência de movimentos da garra	42
Figura 4.21 – Sequência de alterações ao <i>design</i> e tipo construtivo dos elementos da garra..	43
Figura 4.22 – Pormenor da espiga quando agarrada.....	43
Figura 4.23 – Aspeto final da garra e carruagem.....	44
Figura 4.24 – Desenho 2D das chumaceiras de apoio do fuso	50
Figura 4.25 – Elementos da garra submetidos a análise	53
Figura 4.26 – Representação do encastramento da estrutura	54
Figura 4.27 – Representação da restrição de movimentação em x	54
Figura 4.28 – Direção e sentido da carga aplicada	55

Figura 4.29 – Distribuição de tensões obtida para a 1ª simulação	55
Figura 4.30 – Pontos sujeitos a maior tensão decorrentes da 1ª simulação.....	56
Figura 4.31 – Deslocamentos obtidos a partir da 1ª simulação	56
Figura 4.32 – Pormenor da garra, elemento que sofreu maiores deslocamentos	56
Figura 4.33 – Distribuição de tensões obtida para a 2ª simulação	57
Figura 4.34 – Pontos sujeitos a maior deformação quando aplicadas as cargas da 2ª simulação	57
Figura 4.35 – Deslocamentos da estrutura durante a 2ª simulação	58
Figura 4.36 – Pormenor dos elementos sujeitos a maior deformação na 2ª simulação.....	58
Figura 4.37 – Distribuição de tensões obtida na 3ª simulação	59
Figura 4.38 – Pontos sujeitos a maiores tensões decorrentes da 3ª simulação.....	59
Figura 4.39 – Deslocamentos obtidos com a solicitação associada à 3ª simulação	59
Figura 4.40 – Pormenor dos deslocamentos sofridos pela garra	60
Figura 4.41 – Planta da zona de colocação de garrafas no transportador aéreo. À esquerda antes das alterações, à direita após alterações	61
Figura 4.42 – Imagem 3D do transportador de correntes da zona de colocação das garrafas no transportador aéreo	61
Figura 4.43 – Travão de garrafas.....	62
Figura 4.44 – Montagem do travão de garrafas.....	63
Figura 4.45 – Montagem do posicionador de garrafas sobre o transportador de correntes.....	63
Figura 4.46 – Imagem 3D do posto onde as garrafas são colocadas no transportador aéreo ...	64
Figura 4.47 – Planta do posto em que se retiram as garrafas do transportador aéreo. À esquerda antes das alterações, à direita após alterações	64
Figura 4.48 – Imagem 3D do posto onde as garrafas são retiradas do transportador aéreo	65
Figura 4.49 – Descida da garra para acoplamento da espiga ao pendural	65
Figura 5.1 – Circuito pneumático da garra	70
Figura 5.2 – Circuito pneumático dos travões dos transportadores térreos.....	71
Figura 5.3 – Detetores limitadores do curso do sistema de elevação	72
Figura 5.4 – Esquema da implementação da deteção do acoplamento	73
Figura 5.5 – Pormenor da localização das molas e do detetor no posicionador de garrafas	74
Figura 5.6 – Montagem final do posto de colocação das garrafas no transportador aéreo	78
Figura 5.7 – Montagem final do posto de retiro das garrafas do transportador aéreo.....	78
Figura 5.8 – Pontos funcionais dos ciclos de trabalho de cada um dos sistemas	79
Figura 5.9 – Esquema de menus e botões da HMI	83

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Especificações limite das garrafas a transportar na linha	8
Tabela 3.1 – Especificações limite das garrafas a transportar na Fábrica #2	17
Tabela 3.2 – Especificações limite das garrafas a transportar na Fábrica #3	21
Tabela 3.3 – Especificações das garrafas em produção na fábrica #5.....	24
Tabela 3.4 – Caraterísticas do sistema a construir na Fábrica #1 e do seu espaço envolvente	28
Tabela 4.1 – Valores de tempo e velocidades calculados para a garrafa de menor altura	38
Tabela 4.2 – Valores de tempo e velocidades calculados para a garrafa de maior altura	39
Tabela 4.3 – Parâmetros de seleção do cilindro de acionamento do movimento da garra.....	44
Tabela 4.4 - Parâmetros de seleção do fuso e fêmea de esferas	45
Tabela 4.5 – Restrições de velocidade e tempo de aceleração/desaceleração.....	46
Tabela 4.6 – Dados de entrada para a seleção do fuso segundo (Motion & Control NSK, 2013).....	47
Tabela 4.7 – Seleção inicial das principais caraterísticas segundo (Motion & Control NSK, 2013).....	47
Tabela 4.8 – Alteração das caraterísticas principais em função da segurança básica (Motion & Control NSK, 2013).....	48
Tabela 4.9 – Valores dos fatores de carga de encurvadura e fator de velocidade crítica (Motion & Control NSK, 2013).....	48
Tabela 4.10 – Seleção dos rolamentos de apoio do fuso	49
Tabela 4.11 – Parâmetro de seleção do motor de acionamento do fuso (Rexroth - Bosch Group, 2001).....	51
Tabela 4.12 - Parâmetro de seleção do motor de acionamento do fuso	52
Tabela 4.13 – Propriedades mecânicas dos materiais associados a cada elemento.....	53
Tabela 4.14 – Parâmetros de seleção do motor-reductor do transportador de correntes.....	62
Tabela 5.1 – Caraterísticas de seleção da válvula de comando dos cilindros da garra	69
Tabela 5.2 - Caraterísticas de seleção da válvula de comando dos cilindros do travão (Abreu, 2010).....	71
Tabela 5.3 – Resumo das caraterísticas dos detetores selecionados.....	75
Tabela 5.4 – Limites funcionais da máquina em avaliação de riscos.....	76
Tabela 5.5 – Análise de risco da fase de regulação, condução/programação ou mudança de procedimento de fabrico	76
Tabela 5.6 - Análise de risco da fase de funcionamento/operação.....	76
Tabela 5.7 - Análise de risco da fase de limpeza, pesquisa de falhas e avarias e manutenção	77
Tabela 5.8 – Módulos do PLC selecionado	82

Tabela 5.9 – Parâmetro de seleção das fontes de alimentação..... 84

Tabela 5.10 – Lista de códigos e funções de cada equipamento utilizado no circuito elétrico 85

1 Introdução

1.1 Apresentação da AMTROL-ALFA

Com mais de 50 anos de existência, a AMTROL-ALFA é uma empresa que fornece indústrias de gases técnicos e refrigerantes (AMTROL-ALFA, 2012). Esta empresa resultou da fusão em 1990 de duas das maiores fábricas mundiais produtoras de cilindros de gás, estabelecidas em Portugal. A Comanor, que entre 1902 e 1956 se designou Alumínia, unia-se assim à Petróleo Mecânica Alfa, com início de funções em 1967, para juntas consolidarem uma posição de liderança no seu campo de ação. Em julho de 1997, a Alfa Comanor foi adquirida a 100% pelo grupo americano AMTROL^{INC}, passando a designar-se AMTROL-ALFA Metalomecânica, S.A.. A AMTROL^{INC} passou assim a possuir unidades fabris nos Estados Unidos, Polónia e Portugal (Martins & Cruz, 2012).

A unidade industrial da AMTROL-ALFA situa-se em Brito, no Concelho de Guimarães ocupando uma área total de mais de 80000 m² e divide-se nos seguintes polos:

- Fábrica #1
- Fábrica #2
- Fábrica #3
- Fábrica #4
- Fábrica #5
- Serviços de Serralharia
- Manutenção Mecânica e Elétrica
- Armazéns Gerais
- Área Técnica e Administrativa

Atualmente a AMTROL-ALFA é uma empresa constituída por cerca de 550 trabalhadores (Martins & Cruz, 2012).



Figura 1.1 – Vista aérea da unidade industrial da AMTROL-ALFA (AMTROL-ALFA, 2012)

1.2 O Projeto na AMTROL-ALFA

O desenvolvimento do projeto surgiu da necessidade da AMTROL-ALFA adquirir um sistema automático para colocar e retirar garrafas de gás de um transportador aéreo, na linha de acabamento da Fábrica #1.

Esta foi uma fábrica construída para acolher a produção de garrafas de três peças, virola (corpo) e coquilhas (Figura 1.2), sendo uma das primeiras da unidade fabril. Por ser uma fábrica cuja construção coincide com a fundação da Petróleo Mecânica Alfa, as alterações às linhas têm vindo a ser parte fundamental do desenvolvimento da empresa, e a substituição da mão-de-obra por sistemas automáticos tem feito parte da sua modernização.

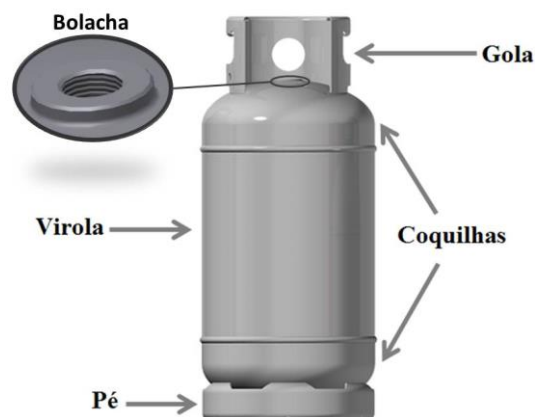


Figura 1.2 – Designação dos diferentes elementos constituintes de uma garrafa

O problema integrado neste projeto relaciona-se maioritariamente com as dimensões das garrafas produzidas nesta fábrica. Até ao momento, a tarefa de colocar e retirar garrafas do transportador aéreo que as conduz ao longo dos postos de pintura e secagem tem sido realizada manualmente por operários (Figura 1.3 e Figura 1.4). Dadas não só as alturas, mas essencialmente os pesos das garrafas em produção, esta é uma tarefa que exige esforço físico

elevado ao operário e pode representar perigosidade a nível médico, devido aos movimentos repetitivos e ao manuseamento de cargas pesadas. Por turno, são produzidas cerca de 1400 garrafas, o que implica que cada um dos operários repita 1400 vezes o mesmo movimento no espaço de 8 horas.



Figura 1.3 - Tarefa manual de colocar garrafas de menor altura no transportador aéreo na linha de acabamento da Fábrica #1



Figura 1.4 – Tarefa manual de retirar garrafas de maior altura do transportador aéreo na linha de acabamento da Fábrica #1

Para além do esforço físico associado à tarefa, existe outra condição adversa. As garrafas encontram-se a temperaturas relativamente altas, dado o posto precedente à descarga do transportador aéreo ser a estufa. Este é outro motivo pelo qual surgiu a necessidade de se realizar a tarefa automaticamente, sem a utilização de mão-de-obra.

Dentro da empresa são utilizadas algumas nomenclaturas que interessam referir desde já, para que se percebam os capítulos subsequentes. O sistema que interliga as garrafas ao transportador aéreo é composto por dois elementos, pendural e espiga, que podem ver-se na Figura 1.5. O pendural é encaixado no transportador aéreo e acoplado à espiga, que é rosçada na bolacha da garrafa. Existem diferentes configurações de pendurais e espigas que diferem em função do transportador aéreo, das características das garrafas e ainda das características da linha em que são utilizados.

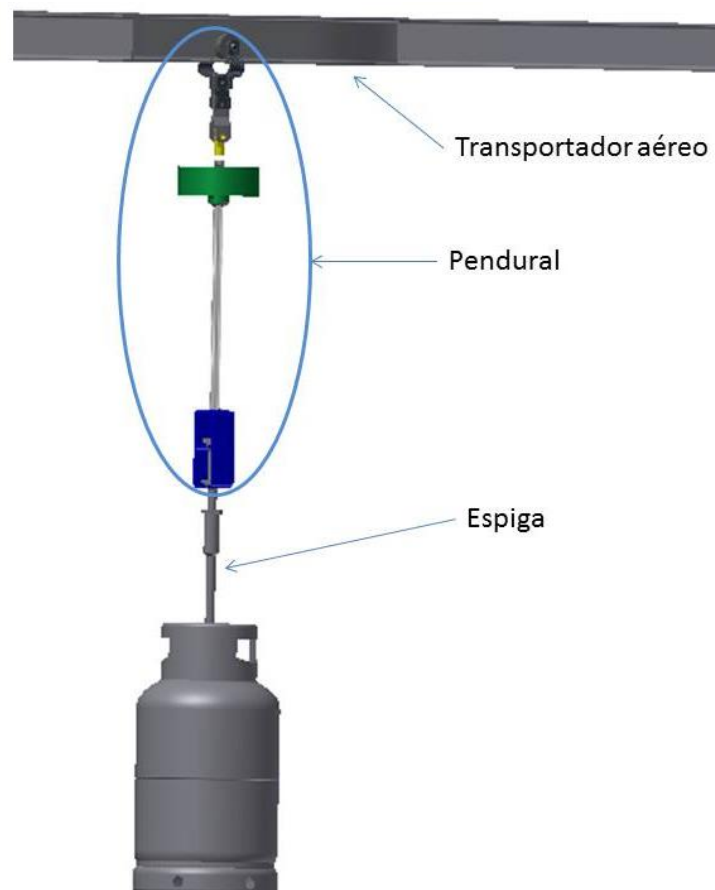


Figura 1.5 – Nomenclaturas utilizadas na empresa

1.3 Motivação para o projeto

A motivação pessoal para a concretização deste projeto surgiu da vontade de realizar a dissertação em ambiente empresarial. Começar por realizar um projeto em parceria entre uma empresa e a escola de engenharia pareceu uma boa forma de ganhar confiança e consolidar conhecimentos antes de terminar o curso e entrar no mundo do trabalho.

Após a aceitação da AMTROL-ALFA em acolher e acompanhar um projeto de dissertação, foram propostos três temas dos quais se selecionou o que agora se apresenta. A escolha recaiu sobre este tema pelo facto de ser um projeto bastante completo. O desenvolvimento de um sistema desde o estudo do projeto mecânico ao projeto de automação engloba diferentes áreas da engenharia e, por isso, para além de ser um grande desafio possibilita a consolidação de vastos conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

1.4 Objetivos

Esta dissertação, realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema automático que diminua os requisitos humanos na colocação e retirada de garrafas de gás de um transportador aéreo na empresa AMTROL-ALFA.

A dissertação tem como objetivos específicos a criação de um equipamento moderno e eficiente, o desenvolvimento da solução mecânica incluindo a escolha e dimensionamento dos acionamentos e órgãos mecânicos, e ainda o avanço de uma solução de automação.

1.5 Organização e temas abordados no presente relatório

Esta dissertação foi desenvolvida e escrita em quatro tópicos principais: redação de uma especificação técnica, análise e comparação de sistemas já em funcionamento na AMTROL-ALFA, desenvolvimento mecânico do equipamento e automação do mesmo.

A especificação técnica para o projeto, aprovada pela AMTROL-ALFA, serviu como indicação limitadora ao desenvolvimento do sistema. Já a análise dos sistemas, semelhantes ao que se pretendia desenvolver, existentes na empresa, foi o ponto de partida para muitas soluções adotadas.

No desenvolvimento do projeto mecânico a definição dos movimentos básicos e respetivas equações de tempo e velocidade permitiu que se estabelecessem as velocidades necessárias para cada movimento. Após a seleção do acionamento do movimento principal foi-se construindo o sistema passo a passo e todas as escolhas foram justificadas. Foram ainda pensadas as alterações aos espaços envolventes e elementos de interface do sistema a construir com a linha.

A construção do sistema inclui também um projeto de automação do equipamento, deixando-se efetuadas as escolhas de comando, deteção e controlo e os esquemas do circuito elétrico. Foi ainda feita uma análise de segurança do sistema e foram projetados os equipamentos necessários, decorrentes desta avaliação. Apesar de nenhuma programação ter sido implementada, este processo encontra-se facilitado pela apresentação de GRAFCET's que delimitam o comportamento geral do sistema.

Por fim, são apresentadas as conclusões mais relevantes de todo o trabalho desenvolvido, assim como algumas propostas que visam a aplicabilidade futura do sistema projetado.

2 Especificação Técnica do Projeto

A especificação técnica foi escrita para definir em pormenor as condições em que o projeto deve ser realizado. Integra os requisitos e os objetivos a atingir de forma a garantir que as soluções a propor cumpram as exigências da AMTROL-ALFA perante o projeto.

2.1 Especificações gerais do projeto

Com a realização do presente projeto, pretende-se criar as condições necessárias para realizar a construção de um sistema, constituído por duas máquinas semelhantes, destinadas, respetivamente, às operações de colocação e de retirada de garrafas de gás de um transportador aéreo. Este transportador pertence à linha de acabamento da Fábrica #1 da empresa AMTROL-ALFA.

Este é um sistema que se pretende totalmente automático, tendo como principal objetivo a diminuição do esforço humano e da perigosidade destas tarefas. Da construção do sistema surgirá, como consequência, uma diminuição dos requisitos de intervenção manual no processo.

É desejável que as máquinas para colocar e retirar garrafas do transportador sejam tão similares quanto possível, ajustadas às diferentes condições envolventes, e que a segurança e fiabilidade da linha sejam as principais preocupações.

Será necessário encontrar uma solução para que uma falha no acoplamento da espiga ao pendural seja ultrapassada automaticamente.

Durante o projeto foi aconselhado o uso do *software Inventor* para a componente de CAD, de forma a que todos os ficheiros decorrentes deste trabalho possam mais tarde ser utilizados ou alterados pela empresa. No que respeita à automação todos os PLC's necessários deverão ser da marca *Schneider*, para que se mantenham as políticas de *stock* implementadas no departamento de Engenharia Industrial.

2.2 Especificações das garrafas a transportar

Ao sistema implementado exige-se que tenha adequada flexibilidade, de forma a poder elevar garrafas de várias dimensões e pesos. As garrafas são fabricadas em lotes, sendo indicados ao sistema automático os parâmetros de cada lote. Dada a grande quantidade de garrafas produzidas na empresa e a constante mudança na linha de produção, apenas se especificam dimensões limite. Estas especificações podem ser encontradas na Tabela 2.1. Na

Figura 2.1 apresentam-se desenhos das duas garrafas que limitam a altura mínima e máxima das garrafas a transportar.

Tabela 2.1 – Especificações limite das garrafas a transportar na linha

Diâmetros ¹ [mm]	
Diâmetro mínimo	219
Diâmetro máximo	383
Pesos ² [kg]	
Peso mínimo	11
Peso máximo	55
Alturas do corpo ³ [mm]	
Altura mínima	454
Altura máxima	1408
Altura máxima da gola [mm]	
188	

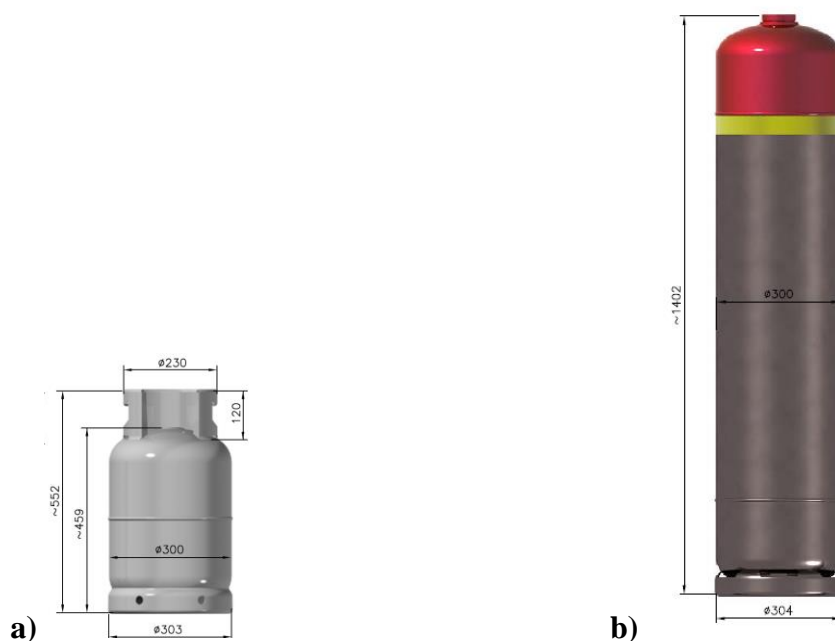


Figura 2.1 – Garrafas que limitam a altura mínima, a) G26.2, e máxima, b) G88⁴

¹ Os diâmetros de pé e do corpo nem sempre são iguais. Na tabela são especificados diâmetros máximo e mínimo dos corpos considerando as tolerâncias.

² Valores estimados.

³ Alturas medidas da base do pé à bolacha. Tolerâncias consideradas.

⁴ Os desenhos encontram-se à escala 1:200

2.3 Especificações dos tempos de ciclo

Os tempos de ciclo implementados no projeto deverão manter a cadência máxima característica da linha antes da intervenção, correspondente a 200 garrafas/hora. A cadência efetiva dependerá do tipo de garrafa que se encontra em produção.

A cadência de chegada de garrafas ao posto de carga é variável em função do lote em acabamento. Os tempos de grenalhagem e metalização são os fatores que mais influenciam este parâmetro de fabrico.

Os tempos de ciclo de cada um dos sistemas deverão estar compreendidos entre, aproximadamente, 15 e 18 segundos. As velocidades de funcionamento da máquina, deverão ser facilmente alteradas, em função do tipo de garrafa em produção, visto que o transportador aéreo tem também velocidade variável segundo este parâmetro.

A distância entre pendurais é constante e de 615 mm.

A cadência de chegada ao posto de carga nem sempre é sincronizada com a velocidade do transportador aéreo.

O tempo de ciclo inclui, na carga:

1. Receção da garrafa no final do transportador de correntes;
2. Transporte da garrafa até ao posto de elevação;
3. Receção da garrafa no sistema elevatório;
4. Elevação da garrafa;
5. Acoplamento da espiga ao pendural rotativo;
6. Retorno do sistema elevatório à posição inicial.

Na descarga o processo é idêntico, mas com sequência inversa:

1. Receção da garrafa no sistema elevatório;
2. Desacoplamento da espiga do pendural rotativo;
3. Descida da garrafa;
4. Retorno do sistema elevatório à posição inicial.

Atualmente, o transportador pode ser parado a qualquer altura pelos operadores dos seguintes postos:

- a) Posto de colocação das garrafas no transportador aéreo;
- b) Posto onde as garrafas são retiradas do transportador aéreo;
- c) Posto de pintura principal.

2.4 Especificações de construção

A AMTROL-ALFA é uma empresa com constante introdução de novos produtos e consequente alteração às linhas de produção. Dessa forma, é imprescindível que o sistema desenvolvido apresente uma flexibilidade tal, que permita a sua instalação noutra local da atual linha de produção, ou até mesmo noutra linha diferente.

No posto onde as garrafas serão penduradas e para o qual o projeto será inicialmente desenhado as interfaces do sistema serão, a montante:

- a) Posto de metalização com saída da garrafa na horizontal – Figura 2.2;
- b) Posto manual de mudança da posição da garrafa para a vertical – Figura 2.3;

- c) Transportador de correntes, em que a garrafa é transportada posicionada na vertical – Figura 2.4.
- d) A garrafa é detida num batente no final do tapete – Figura 2.5.



Figura 2.2 – Saída do posto de metalização



Figura 2.3 – Mudança de posição da garrafa



Figura 2.4 – Tapete de correntes



Figura 2.5 – Pormenor do batente das garrafas

No projeto será necessário criar um *buffer* onde um operador possa acoplar as espigas às garrafas.

Por sua vez, a máquina que retirará as garrafas do transportador aéreo terá a jusante a linha de acabamentos, onde a garrafa é transportada sobre um tapete de rolos motorizado em posição vertical – Figura 2.6.

Neste local terá também que ser criado um *buffer* que sirva de posto de desacoplamento manual da espiga à garrafa, assim como o transporte da garrafa até ele. O tapete de rolos poderá ser aproveitado para o efeito tendo, no entanto, que se fazer as alterações adequadas.



Figura 2.6 – Tapete de rolos que sucede ao posto de descarga das garrafas do transportador aéreo

A AMTROL-ALFA não se opõe a alterações aos equipamentos de interface, desde que extremamente necessárias e sem prejuízo para o fabrico ou para os operários.

Quanto ao conjunto pendural/espiga a AMTROL-ALFA propõe que seja utilizado um conjunto já testado que se apresenta na Figura 2.7. A campânula rola sobre uma tela, o que faz com que o pendural e a garrafa, quando acoplada, rodem sobre si mesmos, para que nos postos de metalização e pintura as pistolas se possam deslocar apenas sobre um eixo vertical enquanto a garrafa roda sobre um segundo eixo.

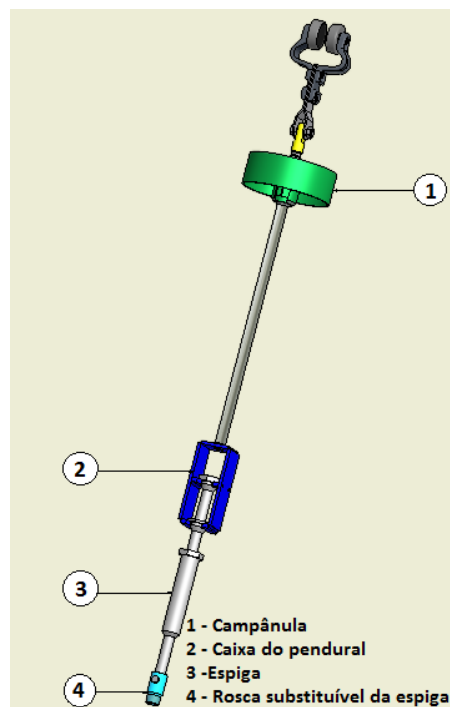


Figura 2.7 – Espiga e pendural aconselhados pela AMTROL-ALFA para utilização na linha de acabamento da Fábrica #1

A solução deverá:

- ser o mais flexível possível,
- trazer à linha de acabamento maior eficiência, nomeadamente com menos tempos de paragem por falhas, e
- ter o menor custo associado, tanto de construção como de manutenção.

3 Análise de Sistemas de Elevação Automáticos Existentes na AMTROL-ALFA

Na realização deste trabalho, uma das dificuldades encontradas foi a recolha de informação sobre o estado da arte relativo ao projeto. De forma a se ultrapassar este problema, foi feita uma análise a todos os sistemas com funções semelhantes ao que se pretendeu desenvolver, existentes na empresa.

Como explicado no Capítulo 1, a AMTROL-ALFA encontra-se dividida em pólos, designados internamente como fábricas. Assim, para a análise, distinguiram-se os sistemas com respeito às fábricas em que se encontram a trabalhar.

3.1 Sistema aplicado na Fábrica #2

3.1.1 Descrição geral

Na Fábrica #2 existe um transportador aéreo na linha de acabamento de garrafas de 2 peças (garrafas constituídas apenas pelas coquilhas, sem virola), portanto garrafas de massa muito inferior ao pretendido. Os sistemas que colocam e retiram as garrafas do transportador aéreo são semelhantes e acionados pneumaticamente. Um esquema da sua construção pode ser encontrado na Figura 3.1 e o desenho de conjunto no Anexo A. Pela sua configuração este sistema é capaz de assegurar movimentos vertical e horizontal sincronizados. Integra cinco cilindros:

- (A) Dois para acionamento do corpo principal;
- (B) Dois para o acionamento dos braços;
- (C) Um para uma pequena elevação, de auxílio, dos braços.

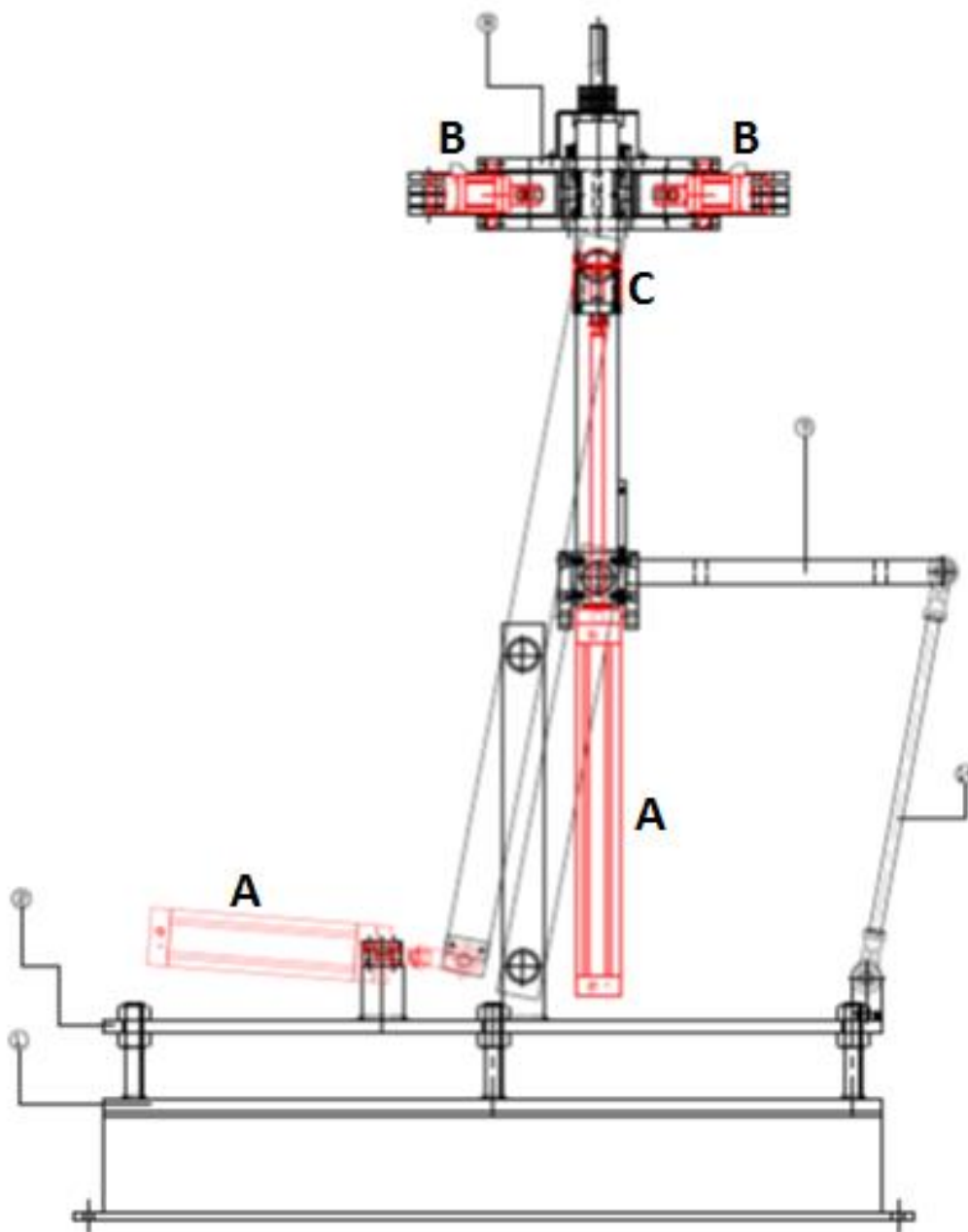


Figura 3.1 – Esquema do sistema de colocação de garrafas da Fábrica #2

Para o posicionamento e fixação do pendural utiliza-se um travão mecânico – Figura 3.2. Os três interruptores de fim-de-curso, indicados com a), visíveis na imagem são utilizados para enviar sinais ao travão das garrafas e ao sistema que as eleva, a fim de coordenar os movimentos com a posição do pendural. O último fim de curso sinaliza o abandono do pendural do local de carga.



Figura 3.2 – Pormenor do travão do pendural rotativo

Na Figura 3.3 vê-se uma sequência de movimentos do sistema que retira as garrafas do transportador aéreo.



Figura 3.3 – Sequência de movimento dos braços do sistema de retirar garrafas da Fábrica #2

3.1.2 Definição do conjunto pendural e espiga

Na linha da Fábrica #2 são utilizadas espigas compostas por um corpo principal, e uma rosca amovível, que é alterada em função da bolacha da garrafa em produção. Por ser amovível esta rosca é facilmente substituída quando gasta, aproveitando dessa forma todo o material do corpo, que não sofre desgaste. Pode ver-se na Figura 3.4 o corpo da espiga.

O pendural utilizado nesta linha é composto por um sistema que o faz rodar sobre si próprio, para que as garrafas rodem consigo quando acoplados. Estes pendurais rotativos são utilizados em linhas que contêm postos de metalização e pintura, para que as pistolas se movam apenas num eixo vertical, enquanto a garrafa roda sobre um segundo eixo. A caixa do pendural encontra-se representada na Figura 3.5. Este é uma caixa apenas aberta de um dos lados, e que contém no interior dois entalhes onde a espiga será encaixada.

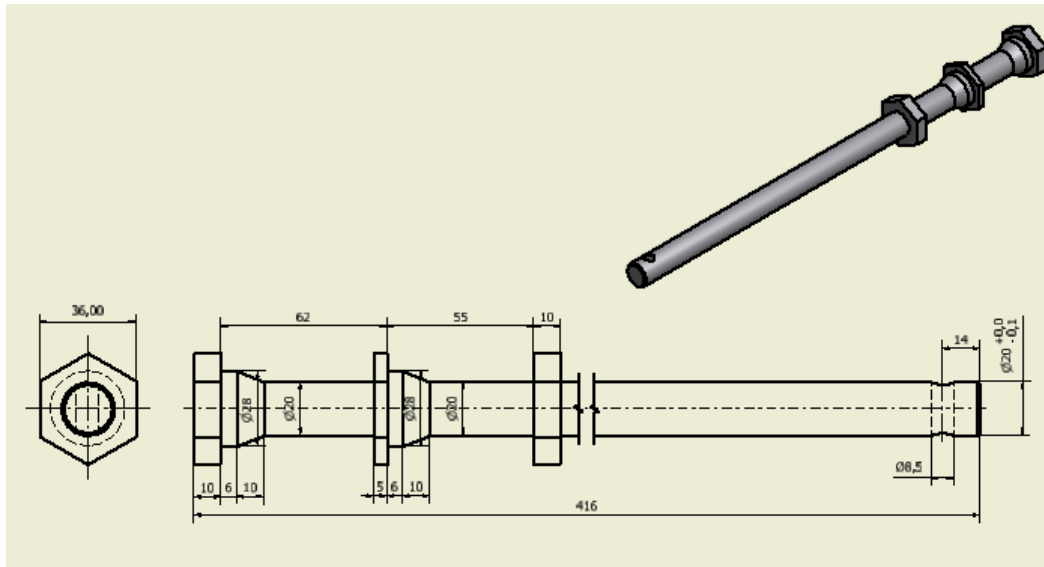


Figura 3.4 – Espiga utilizada no sistema da Fábrica #2

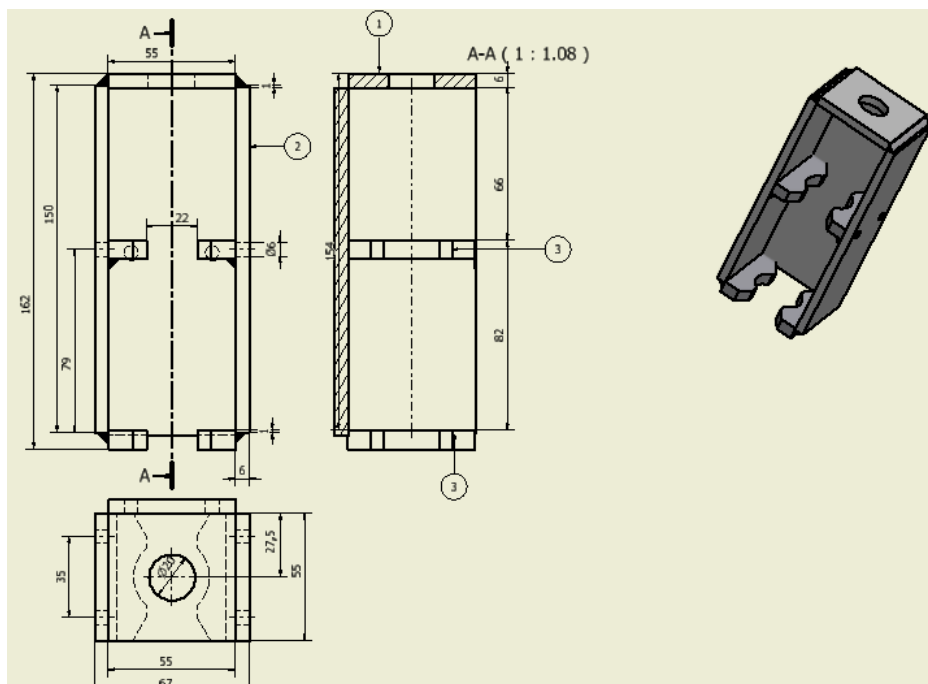


Figura 3.5 – Pendural utilizado no sistema da Fábrica #2

3.1.3 Sensores/Detetores Utilizados

Nestes sistemas são utilizados microinterruptores.

No sistema de colocação das garrafas no transportador aéreo é utilizado um microinterruptor para detetar a chegada da garrafa ao local de elevação e ativar o fecho dos braços.

No sistema que as retira, é utilizado um microinterruptor para detetar a chegada de uma garrafa no transportador aéreo e outro para detetar o não desacoplamento da espiga ao pendural.

3.1.4 Garrafas a Transportar

As garrafas a transportar têm as seguintes características:

Tabela 3.1 – Especificações limite das garrafas a transportar na Fábrica #2

Diâmetros ⁵ [mm]	
Diâmetro mínimo	202
Diâmetro máximo	320
Pesos ⁶ [kg]	
Peso mínimo	4
Peso máximo	16
Alturas do corpo ⁷ [mm]	
Altura mínima	220
Altura máxima	540
Altura máxima da gola [mm]	
188	

Pela análise da Tabela 3.1 percebe-se que as características destas garrafas se concentram numa gama mais reduzida de alturas, em relação às características das garrafas a transportar na linha da Fábrica #1. Para além de se tratar de uma gama menor, estas são garrafas com alturas próximas da menor garrafa em fabrico na Fábrica #1, o que também se reflete no seu menor peso.

3.1.5 Tempos de Ciclo

O tempo de ciclo deste equipamento, geralmente, não sofre alterações, apesar das diferentes garrafas em produção. Entre o acoplamento de uma garrafa e o acoplamento da seguinte decorrem 10s, sendo que o transportador aéreo se encontra programado para funcionar à velocidade máxima permitida.

3.1.6 Outras Especificações

Para o processo de colocação das garrafas no transportador aéreo, é necessário travar as garrafas para que se apresentem ao sistema automático no tempo e na posição adequados. É utilizado um sistema de acionamento pneumático – Figura 3.6.

⁵ Valores aproximados.

⁶ Valores estimados. Incluído peso da espiga.

⁷ Alturas medidas da base do pé à bolacha. Valores aproximados.



Figura 3.6 – Travão do sistema de colocação de garrafas da Fábrica #2

Dada a configuração dos pendurais, é necessário o seu posicionamento em ambos os postos. Este é um posicionamento preciso e feito unicamente numa posição. O sistema de posicionamento integrado no transportador aéreo é composto por uma corrente, que faz o pendural rodar, e umas guias que orientam o pendural e o mantêm em posição fixa (Figura 3.7) cujo desenho de conjunto se encontra no Anexo A. O pendural compreende dois orientadores de forma a poder ser orientado.

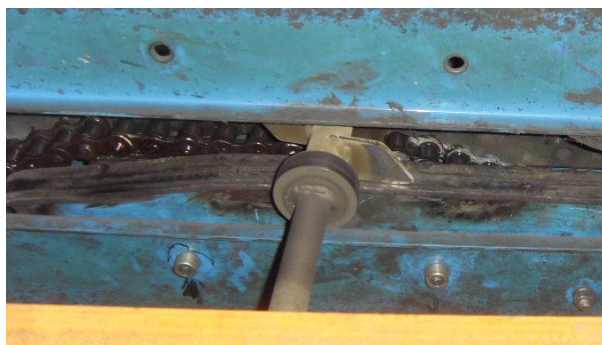


Figura 3.7 – Sistema de orientação dos pendurais rotativos

3.2 Sistema aplicado na Fábrica #3

3.2.1 Descrição Geral

Na Fábrica #3 não existe sistema de colocação automática das garrafas, mas apenas sistema para as retirar do transportador aéreo. Este é um sistema diferente dos da Fábrica #2, sendo apenas constituído por um braço e assegurando apenas o movimento vertical.

O acionamento principal é mecânico (fuso e porca de esferas) e o acionamento do braço é pneumático.

O esquema pode ser observado na Figura 3.8 e o desenho de conjunto do sistema encontra-se no Anexo A. O desenho do anexo é o desenho inicial, que continha dois braços. O sistema implementado resultou de uma adaptação do projeto inicial.

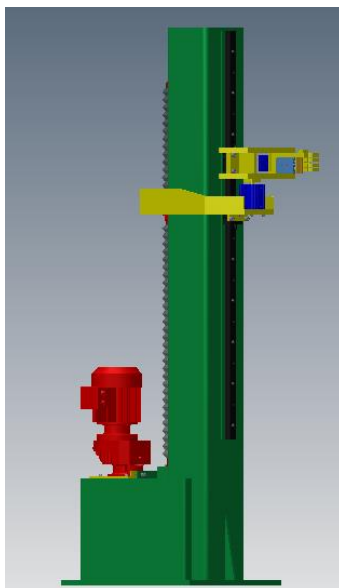


Figura 3.8 – Sistema para retirar garrafas utilizado na fábrica #3

O braço é constituído por uma armação em forma de mão humana, indicada na Figura 3.9 com a), e por uma patilha, b), acionada pneumáticamente. Esta patilha tem uma função semelhante a um polegar e quando avança, fecha a garra, empurrando a garrafa contra a armação, para que esta fique presa.

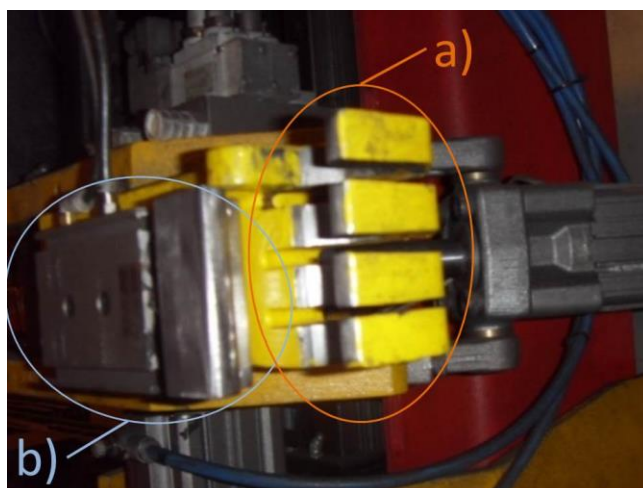


Figura 3.9 – Pormenor do braço que retira as garrafas do transportador na fábrica #3

3.2.2 Definição do conjunto pendural e espiga

O pendural utilizado na Fábrica #3, representado na Figura 3.10, é muito semelhante ao utilizado na Fábrica #2. Apenas os distingue o facto de este ter abertura de dois lados, o que permite que possa receber a espiga em duas posições diferentes. Este é também um tipo de pendural rotativo.

A espiga tem o mesmo formato da utilizada na Fábrica #2 tendo, no entanto, dimensões diferentes. O conjunto espiga pendural pode ser observado na Figura 3.11.

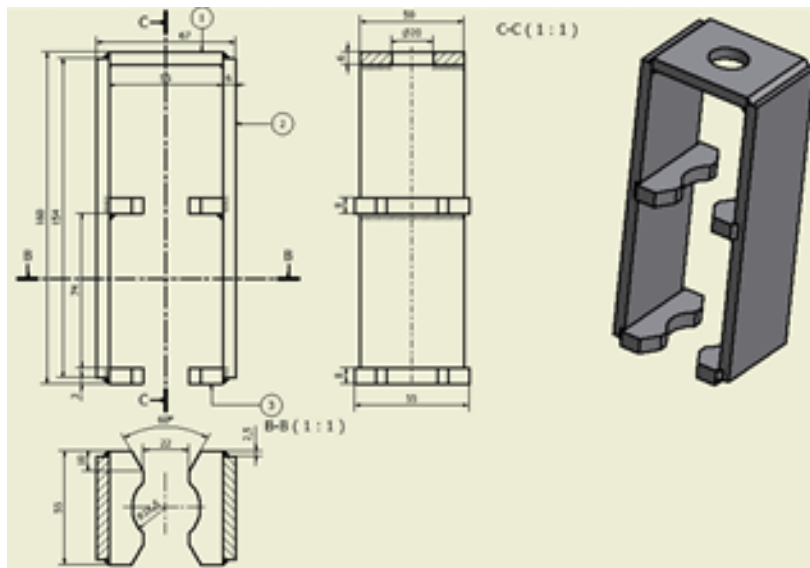


Figura 3.10 – Pendural utilizado na fábrica #3

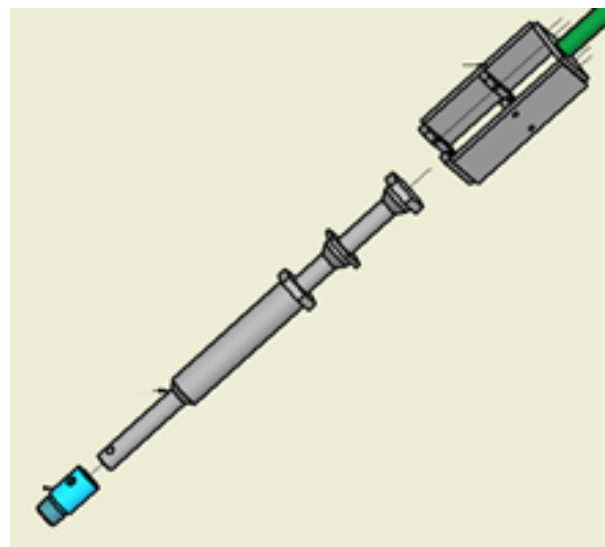


Figura 3.11 – Conjunto espiga/pendural utilizados na fábrica #3

3.2.3 Sensores/Detetores utilizados

Este é um sistema que utiliza detetores óticos de proximidade:

- Um para detetar a chegada da garrafa, integrado no corpo do sistema de elevação;
- Dois, integrados no transportador aéreo, que detetam o pendural. O primeiro deteta a sua chegada, dando sinal para que a garrafa seja subida ligeiramente de forma a que a espiga seja desacoplada do pendural. O segundo sinaliza a saída do pendural do local de desacoplamento, dando sinal ao sistema para que desça a garrafa até ao tapete.

3.2.4 Garrafas a Transportar

As garrafas a transportar têm as seguintes características:

Tabela 3.2 – Especificações limite das garrafas a transportar na Fábrica #3

Diâmetros⁸ [mm]	
Diâmetro mínimo	245
Diâmetro máximo	306
Pesos⁹ [kg]	
Peso mínimo	5
Peso máximo	9
Alturas do corpo¹⁰ [mm]	
Altura mínima	460
Altura máxima	507
Altura máxima da gola [mm]	
188	

Este é o sistema cujas garrafas tem a menor gama de alturas, e por isso mesmo, a menor gama de pesos. Tratam-se de garrafas com altura máxima próxima da altura mínima das garrafas a transportar pelo sistema a desenvolver, à semelhança do verificado na Fábrica #2.

3.2.5 Tempos de Ciclo

A velocidade do transportador aéreo é geralmente mantida no valor máximo disponível. Assim sendo o tempo de ciclo mantém-se constante para todo o tipo de garrafa sendo de aproximadamente 12s.

3.2.6 Outras Especificações

Este é um sistema automático cujo desenvolvimento advém das condições adversas de manipulação da garrafa à saída da estufa, daí não ter existido desenvolvimento de um sistema para colocar as garrafas no transportador e o processo ser realizado manualmente.

A jusante do sistema encontra-se um tapete de correntes que transporta as garrafas sobre uma base de apoio individual.

⁸ Os diâmetros de pé e do corpo nem sempre são iguais. Na tabela são especificados diâmetros máximo e mínimo dos corpos aproximados.

⁹ Valores estimados. Incluído peso da espiga.

¹⁰ Alturas medidas da base do pé à bolacha. Valores aproximados.

3.3 Sistema aplicado na Fábrica #5

3.3.1 Descrição geral

Este é um sistema que incorpora as soluções dos dois sistemas anteriores. Trata-se de um equipamento de acionamento mecânico (fuso e porca de esferas) com dois braços acionados pneumaticamente (Figura 3.12 e Figura 3.13) que apenas assegura movimento vertical. O desenho de conjunto não é apresentado dado este ser em tudo semelhante ao sistema utilizado na Fábrica #3.

Cada um dos braços amarelos que se vêem na Figura 3.12 e na Figura 3.13 roda sobre um eixo fixo respetivo, fechando-se sobre a espiga. Os braços mantêm-se fechados através da força aplicada pelos cilindros pneumáticos.



Figura 3.12 – Sistema de colocação das garrafas no transportador aéreo da fábrica #5

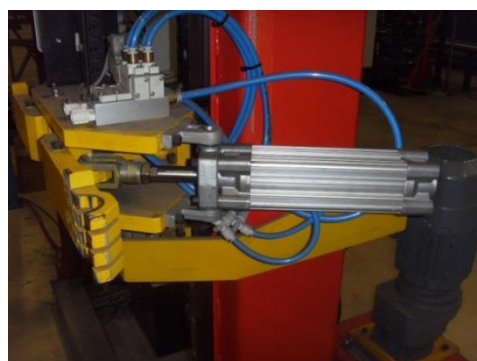


Figura 3.13 – Detalhe do cilindro pneumático de acionamento de um dos braços

3.3.2 Definição do conjunto pendural e espiga

Este é um tipo de pendural não rotativo e, por isso, abandona o local onde recebe a garrafa exatamente com a mesma orientação que apresenta no posto onde a garrafa é retirada. Assim, assegura-se naturalmente a sua orientação necessária ao acoplamento.

A configuração do elemento terminal do pendural (caixa) encontra-se na Figura 3.14 e a da espiga na Figura 3.15.

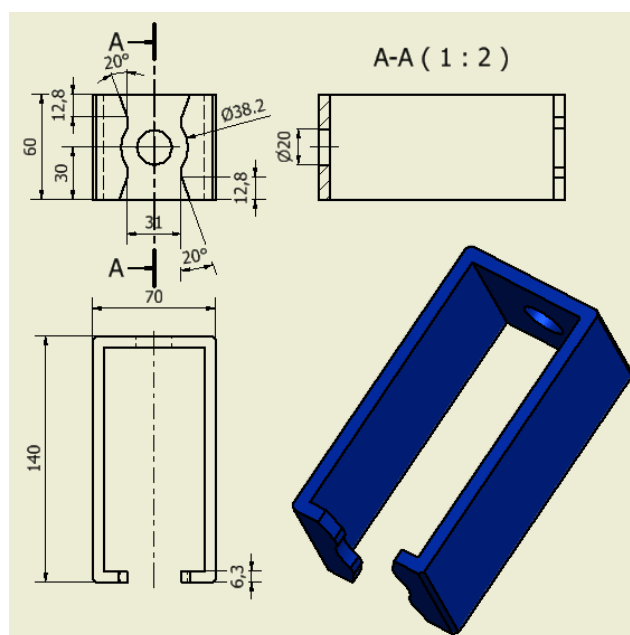


Figura 3.14 – Caixa do pendural utilizado na linha da fábrica #5

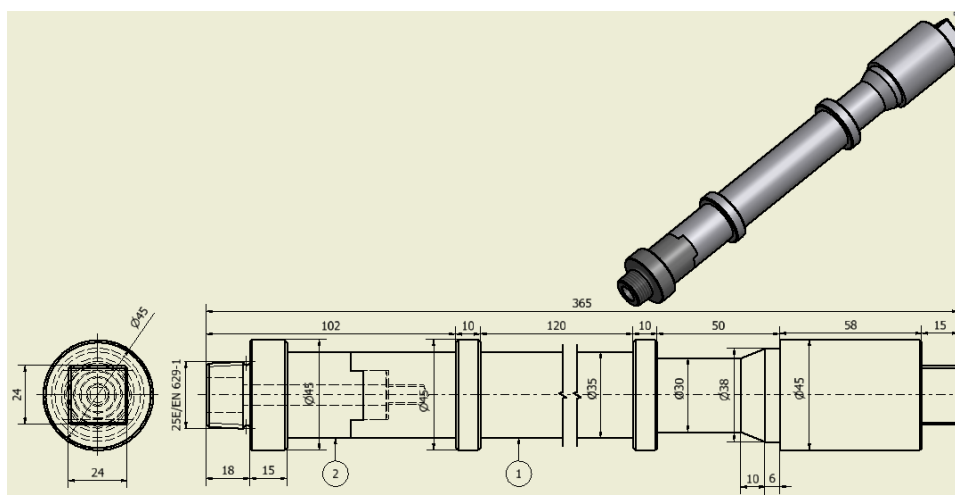


Figura 3.15 – Espiga aplicada nas garrafas em produção na fábrica #5

3.3.3 Garrafas a Transportar

Nesta linha apenas são fabricados dois tipos de garrafas de alta pressão, com 10 ou 20L de capacidade. Estas são garrafas com desenho semelhante, alterando-se apenas as suas dimensões. As especificações destas encontram-se na Tabela 3.3.

Estas garrafas não contem gola nem pé e, por isso, são completamente diferentes das garrafas produzidas na Fábrica #1.

Tabela 3.3 – Especificações das garrafas em produção na fábrica #5

Diâmetros¹¹ [mm]	
Diâmetro G10	246
Diâmetro G20	302
Pesos¹² [kg]	
Peso G10	12
Peso G20	18,5
Alturas do corpo¹³ [mm]	
Altura G10	440
Altura G20	531

3.3.4 Tempos de Ciclo

O transportador aéreo tem uma velocidade muito baixa, dado carregar as garrafas ao longo da estufa, e estas necessitam de estar bastante tempo dentro do equipamento. O tempo de ciclo, desde o acoplamento de uma garrafa até ao acoplamento da seguinte, rondará os 4 minutos.

3.3.5 Outras Especificações

O sistema de colocação das garrafas é antecedido de um transportador de correntes que transporta as garrafas, sobre placas de suporte, desde o posto de enrolamento filamentar até ao posto de elevação – Figura 3.16. A jusante do mesmo encontra-se a estufa, que é o elemento limitador da velocidade do transportador aéreo.



Figura 3.16 – Sistema que precede o posto de colocação das garrafas no transportador aéreo

¹¹ Valores aproximados.

¹² Valores estimados.

¹³ Alturas medidas da base à bolacha (garrafas sem pé nem gola)

Já o sistema de descarga é sucedido por um tapete de correntes, que transporta as garrafas ao longo de vários postos de teste e análise.

3.4 Sistemas Aplicados na Fábrica #1 – Sistemas de Auxílio

Existem na Fábrica #1 dois equipamentos de auxílio para a colocação das garrafas em transportadores aéreos. O acoplamento da garrafa ao pendural é feito por um operador, sendo a garrafa elevada pelo equipamento. Este é constituído por um cilindro pneumático sem haste que eleva uma base onde é apoiada a garrafa. Existe um elevador na linha de fabrico (Figura 3.17) e outro na linha de acabamento.



Figura 3.17 – Elevador situado no final da linha de fabrico da fábrica #1

Estes equipamentos são acionados pelo operador através de botões. No equipamento da linha de fabrico o operador dá ordem de avanço, e quando necessário de recuo. Já no elevador da linha de acabamento apenas recebe ordem de avanço, sendo o recuo imediato após o fim de curso.

Estes sistemas funcionam sobre diferentes condições de carga e deslocamento, em função das garrafas em produção. As características das garrafas elevadas são as referidas na Tabela 2.1 da secção 2.2 *Especificações das garrafas a transportar*.

3.5 Síntese e comparação dos diferentes sistemas

3.5.1 Características das garrafas a transportar

O sistema a desenvolver para implementação na Fábrica #1 terá maiores exigências quanto à diversidade de dimensões das garrafas do que qualquer um dos outros sistemas analisados. As gamas de alturas e pesos são vastas e, como tal, o sistema terá de ser bastante flexível quanto à capacidade de se adaptar a diferentes modelos de garrafas.

3.5.2 Disponibilização das garrafas ao sistema de colocação de garrafas no transportador aéreo

Na Fábrica #2 as garrafas são transportadas e disponibilizadas ao sistema de carga em posição vertical sobre um tapete de correntes motorizado. O tapete de correntes é paralelo ao transportador aéreo.

Já na Fábrica #5 tem-se uma disponibilização um pouco diferente. As garrafas são transportadas sobre uma base que faz o seu posicionamento, dado estas não conterem pé. O transportador das bases é perpendicular ao transportador aéreo sendo as garrafas disponibilizadas em frente ao sistema de carga. - Figura 3.18.



Figura 3.18 – Disponibilização das garrafas ao sistema de colocação das garrafas no transportador

Em qualquer um dos casos as garrafas são disponibilizadas na vertical, sendo esta a posição de mais fácil manuseamento nos sistemas de elevação, dado posteriormente serem transportadas na vertical no transportador aéreo.

Para o sistema a construir a disponibilização das garrafas está em aberto, sendo no entanto de considerar que também serão transportadas na vertical no transportador aéreo. Todas as garrafas a transportar na linha da Fábrica #1 contêm pé e por isso este será um sistema mais próximo do da Fábrica #2 na disponibilização das garrafas ao sistema de carga, onde todas as garrafas contêm igualmente pé.

3.5.3 Sistema de transporte aéreo

Os transportadores aéreos das Fábricas #1, #3 e #5 são semelhantes e constituídos por um perfil I, onde os pendurais são transportados com um *chariot*. Este é um sistema simples e de fácil manutenção. Já o instalado na Fábrica #2 é bastante mais complexo e traz à empresa custos mais elevados sendo constituído por um perfil resultante de duas chapas quinadas e um cadeado que desliza entre as duas. A análise deste sistema não é necessária, dado não haver necessidade de um sistema tão complexo na Fábrica #1.

Quanto aos movimentos assegurados pelos pendurais, estes diferem de fábrica para fábrica. Tal como foi referido anteriormente, na Fábrica #5, ao contrário de todas as outras,

não é necessária a rotação da garrafa. Como tal o pendural é mais simples e não necessita de orientação anterior aos postos de carga e descarga. No sistema da Fábrica #1 seria então aconselhado um sistema de orientação semelhante ao da Fábrica #3. Neste sistema não só o transportador é semelhante, como se têm duas possibilidades de orientação do pendural, dado este ser aberto (Figura 3.10), o que torna o sistema de orientação do pendural mais simples.

Existe ainda assim uma diferença significativa nos transportadores das Fábrica #3 e #1. Na Fábrica #1 a rotação do pendural é dada pelo deslizamento de uma campânula sobre uma tela, enquanto no transportador da Fábrica #3 a rotação é assegurada por um pinhão cuja rotação é feita através do movimento linear de uma corrente. Esta é uma especificação que tem interesse na estrutura do pendural e na estabilidade da garrafa quando em rotação.

O peso das garrafas a transportar não parece ser uma especificação com influência na configuração dos transportadores ou nos sistemas de rotação, mas apenas na configuração dos pendurais.

3.5.4 Diferenças especificadas no posicionamento e bloqueio dos pendurais

Começando pela análise da Fábrica #5, que é certamente a mais simples, verifica-se que não existe nenhum tipo de mecanismo de orientação, posicionamento ou bloqueio dos pendurais. Isto deve-se à velocidade bastante baixa do transportador que faz com que o pendural chegue ao local de carga muito lentamente. Assim, tanto a colocação das garrafas como o processo de as retirar são facilmente realizados.

Já o sistema da Fábrica #2, pela alta velocidade do transportador e configuração das máquinas, que utilizam movimentos vertical e horizontal sincronizados, tem impreterivelmente que conter um travão do pendural, para que este se mantenha na posição de acoplamento pelo tempo necessário à colocação/retirada das garrafas. É também imprescindível neste sistema a existência de um orientador do pendural que assegure a sua disponibilização ao sistema sempre na mesma posição. Existe apenas uma posição em que o acoplamento é possível, dado o pendural ser fechado de um dos lados (Figura 3.5) de forma a lhe garantir maior rigidez. No entanto, poderia ter sido encontrada outra solução, com uma necessidade de orientação menos rígida, semelhante ao da Fábrica #3, por exemplo.

Este último incorpora um sistema de orientação do pendural mais simples, dado existirem duas posições possíveis para a retirada da garrafa do pendural. O bloqueio deste numa posição fixa não é necessário no caso, dado que o sistema apenas compreende movimento vertical. O sistema tem uma ligeira subida após agarrar a garrafa, desacoplando a espiga do pendural. Os sensores óticos sinalizam a saída do pendural do local de desacoplamento e o sistema recebe ordem para descer a garrafa até à base de transporte.

3.5.5 Disponibilização das garrafas após serem retiradas do transportador aéreo

Em todos os sistemas a garrafa é disponibilizada verticalmente após a retirada do transportador aéreo, sendo o tipo de transporte “térreo” semelhante ao designado no posto de colocação das garrafas.

Na Fábrica #3, por nem todas as garrafas terem pé, o transporte é feito numa base, à semelhança da Fábrica #5. Mais uma vez, na Fábrica #1 não existirá essa necessidade, dado todas as garrafas conterem pé.

Na Tabela 3.4 são resumidas as características do sistema a construir na Fábrica #1 e do seu espaço envolvente.

Tabela 3.4 – Características do sistema a construir na Fábrica #1 e do seu espaço envolvente

Caraterística	Descrição
Caraterísticas das garrafas	Gama alargada de alturas e pesos (nenhum sistema semelhante)
Disponibilização das garrafas ao sistema	Vertical, sobre tapete (como Fáb. #2)
Transportador aéreo	Perfil I (como Fáb. #3 e #5)
Posicionamento e bloqueio dos pendurais	Orientação com duas possibilidades sem bloqueio do pendural para o acoplamento (como Fáb. #3)
Posicionamento das garrafas após retirada do transportador aéreo	Vertical, diretamente sobre tapete (como Fáb. #2)

4 Desenvolvimento dos elementos mecânicos do sistema e espaço envolvente

O sistema foi desenvolvido em três etapas básicas:

- a) definição dos movimentos básicos a integrar e respetivas equações de tempo;
- b) escolha do acionamento para o movimento principal (movimento vertical);
- c) desenvolvimento da estrutura do sistema e outros elementos.

Neste capítulo são resumidos os pontos mais importantes de cada uma destas etapas, apresenta-se a solução encontrada e justificam-se as escolhas principais efetuadas.

4.1 Definição básica dos movimentos a integrar na solução

De forma a escolher os movimentos básicos do equipamento a desenvolver, estudaram-se duas soluções para o sistema que colocará as garrafas no transportador aéreo e procedeu-se à sua análise e comparação. Baseada nesta comparação a AMTROL-ALFA pôde fazer uma escolha que serviu de base a todo o subsequente desenvolvimento do sistema.

Inicialmente, as soluções apenas integraram a definição das funções básicas do sistema. Foram especificados movimentos a realizar e a variação dos tempos de realização de cada movimento. Nenhuma solução construtiva foi avançada, apenas se apresentaram duas soluções de princípio básicas.

Nas duas soluções garantiram-se velocidades de movimento variáveis em função da velocidade do transportador aéreo e do tipo de garrafas a transportar.

4.1.1 Solução 1

Esta é uma solução mais simples nos movimentos e, dado este facto, mais simples na construção e programação.

Propôs-se a criação de um posto de elevação com movimento principal vertical.

O tapete de transporte seria paralelo e alinhado com o transportador aéreo continuando para além do posto de elevação para que este ficasse desocupado no caso do acoplamento da espiga ao pendural não ser bem-sucedido.

Movimentos garantidos

O sistema apenas garante os seguintes movimentos:

- Fecho da garra (ou sistema semelhante) sobre a garrafa – Figura 4.1;
- Elevação da garrafa – Figura 4.2;
- Descida a baixa velocidade da garrafa – Figura 4.4;
- Abertura da garra (ou sistema semelhante) – Figura 4.5;
- Retorno do sistema à posição inicial – Figura 4.6.

Desta forma é necessário um tempo de espera pelo pendural – Figura 4.3 – que tem grande peso no tempo de ciclo.

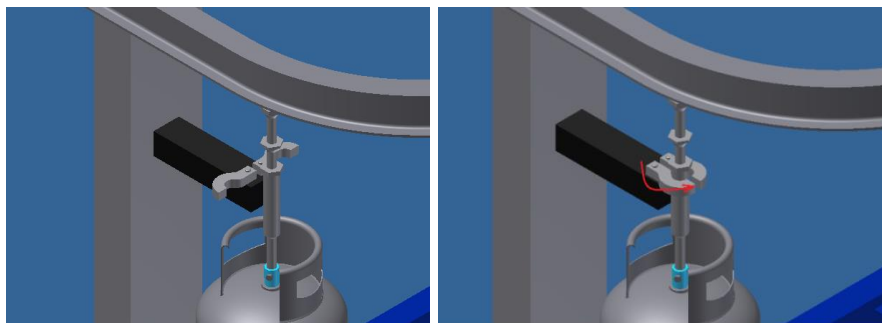


Figura 4.1 – Fecho da garra (ou sistema semelhante) sobre a espiga

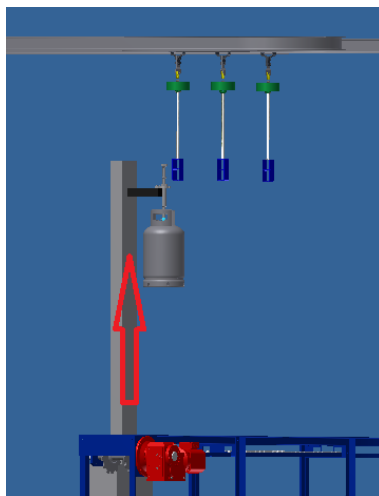


Figura 4.2 – Elevação da garrafa até ao ponto de acoplamento

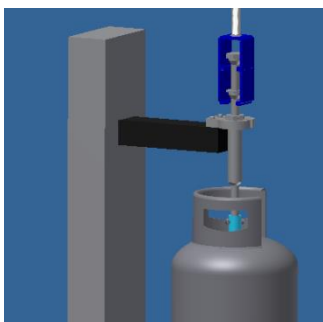


Figura 4.3 – Espera pela chegada do pendural ao ponto de acoplamento

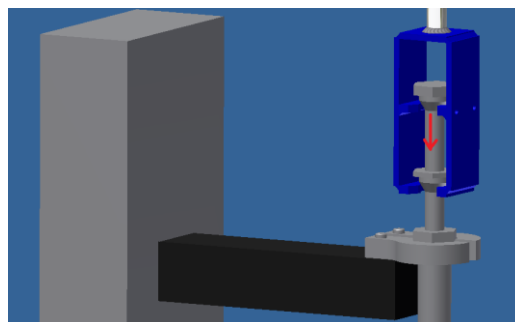


Figura 4.4 – Descida a baixa velocidade para encaixe da espiga no pendural

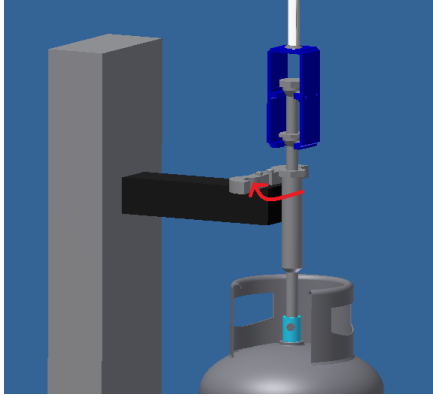


Figura 4.5 – Abertura da garra (ou sistema semelhante)

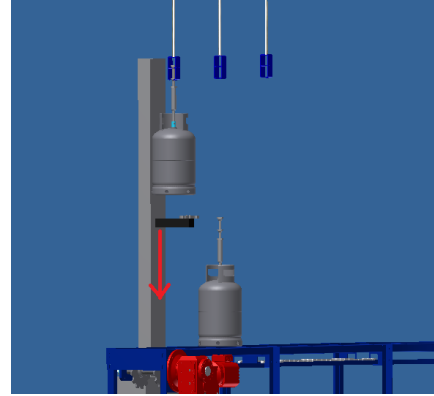


Figura 4.6 – Retorno do sistema à posição inicial

No sistema proposto, no caso de uma falha no processo de acoplamento, a garrafa pode não ser bem posicionada no pendural e cair. Uma situação semelhante à representada na Figura 4.7 poderia ocorrer.

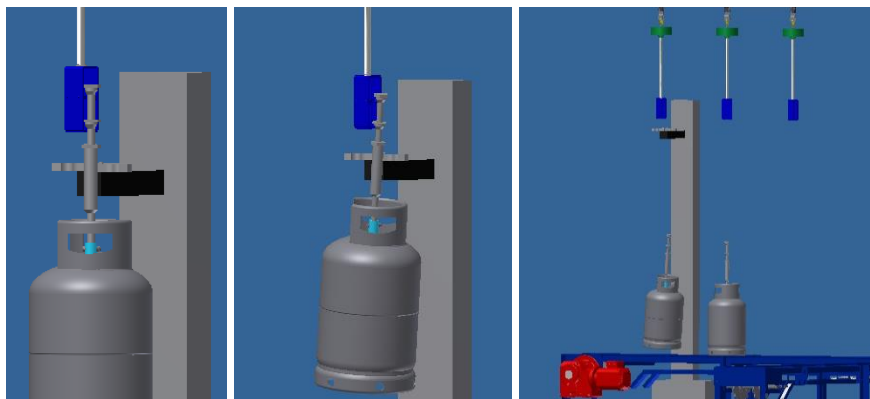


Figura 4.7 – Queda de uma garrafa cujo acoplamento foi mal sucedido

Variação das velocidades de movimento

O tempo de ciclo é dependente da distância entre pendurais (valor fixo para qualquer tipo de garrafa) e da velocidade do transportador, segundo a equação:

$$t_c = \frac{d_p}{v_t} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

t_c – tempo de ciclo

d_p – distância entre pendurais (615 mm)

v_t – velocidade do transportador aéreo (variável em função da garrafa)

O tempo de espera pelo pendural é dependente das dimensões da espiga e do pendural, valores fixos, e ainda da velocidade do transportador aéreo:

$$t_e = \frac{\frac{d_e + l_p}{2}}{v_t} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

t_e – tempo de espera pelo pendural

d_e – diâmetro máximo da espiga (50 mm)

l_p – largura do pendural (55 mm)

O tempo que resulta para todos os outros movimentos é calculado pela diferença entre o tempo de ciclo e o tempo de espera, corrigido com um fator de segurança de 1,2. Este fator de segurança foi considerado de forma a compensar as tolerâncias pouco rígidas de construção e montagem dos pendurais.

$$t = t_c - 1,2t_e \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

t – tempo para os restantes movimentos

O tempo de agarrar e largar a garrafa será igual para todas as garrafas a transportar, assim como o tempo que leva a pequena descida da espiga para posicionamento no pendural. Estes tempos deverão ser o mais rápido possível para que o movimento principal não tenha que ser feito a uma velocidade demasiado elevada.

O tempo de subida e descida será então calculado pela equação:

$$t_{s/d} = \frac{t - t_{a/f} - t_{pd}}{2} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

$t_{s/d}$ – tempo de cada um dos movimentos de subida e descida da garra

$t_{a/f}$ – soma dos tempos de abertura e fecho da garra

t_{pd} – tempo da pequena descida de posicionamento da espiga

A velocidade de subida e descida será então:

$$v_{s/d} = \frac{c_e}{t_{s/d}} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

$v_{s/d}$ – velocidade de subida e descida

c_e – curso de elevação

O tapete inferior deverá conter um batente, sincronizado com o sistema de colocação das garrafas no transportador aéreo, para que as garrafas sejam libertadas no tempo adequado.

4.1.2 Solução 2

A segunda solução proposta compreendeu dois movimentos principais, vertical e horizontal. Desta forma, pretendeu-se eliminar os tempos de espera e assim reduzir-se o tempo de ciclo.

Com o movimento vertical far-se-ia a elevação da garrafa, à semelhança da primeira solução, e o movimento horizontal permitiria que o sistema de elevação fosse ao encontro do pendural, o que possibilitaria então a eliminação do tempo de espera.

Para garantir o escape da garrafa do local de carga, o sistema integraria um componente que confirmaria o acoplamento e no caso de falha a garrafa seria levada até um *buffer*.

Movimentos Garantidos

O sistema integraria os seguintes movimentos:

- Fecho da garra (ou sistema semelhante) sobre a garrafa – Figura 4.8;
- Elevação da garrafa em simultâneo com o transporte horizontal de encontro ao pendural – Figura 4.9;
- Ativação do elemento de posicionamento do pendural relativamente à espiga – Figura 4.10;
- Descida a baixa velocidade da garrafa – Figura 4.11;
- Abertura da garra (ou sistema semelhante) em simultâneo com a desativação do elemento de posicionamento – Figura 4.12;
- Retorno do sistema à posição base com os movimentos vertical e horizontal em simultâneo – Figura 4.13.

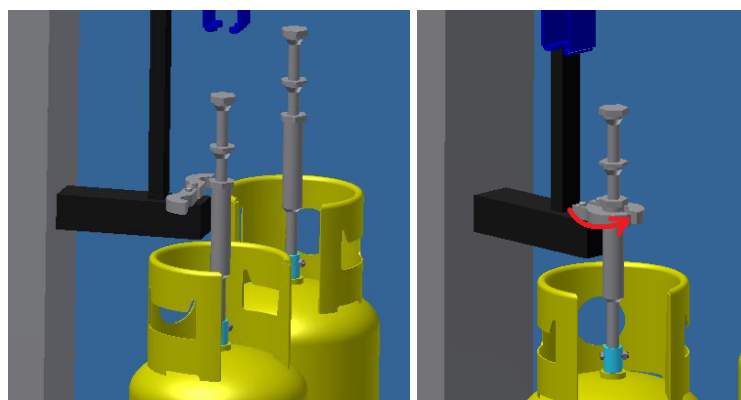


Figura 4.8 - Fecho da garra (ou sistema semelhante) sobre a espiga

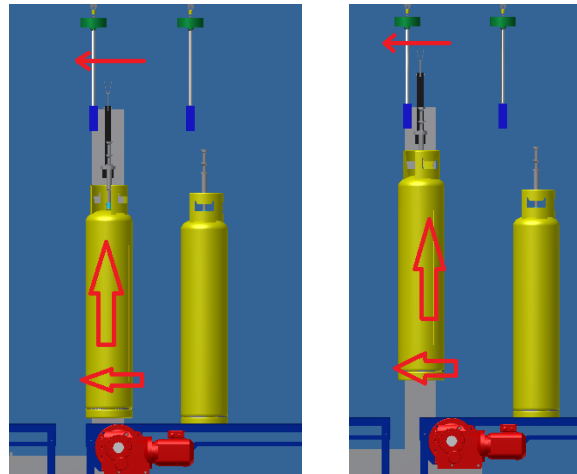


Figura 4.9 – Movimentos vertical e horizontal simultâneos

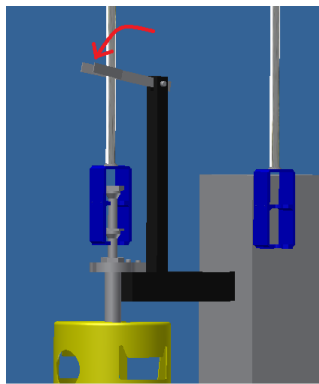


Figura 4.10 – Confirmação do correto posicionamento do pendural

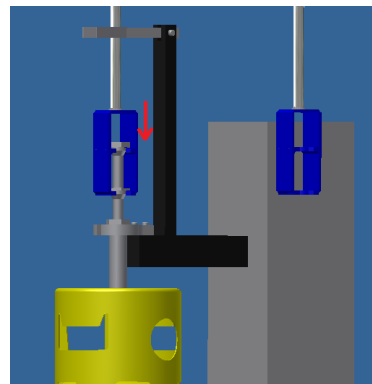


Figura 4.11 – Acoplamento da espiga ao pendural

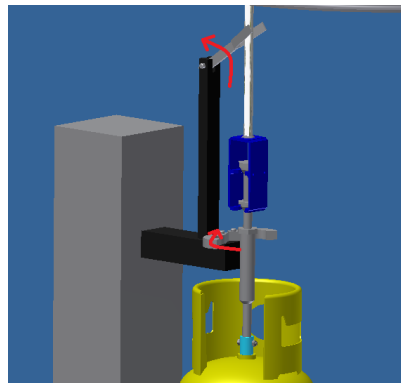


Figura 4.12 – Abertura da garra (ou sistema semelhante) e desativação de elemento de posicionamento do pendural

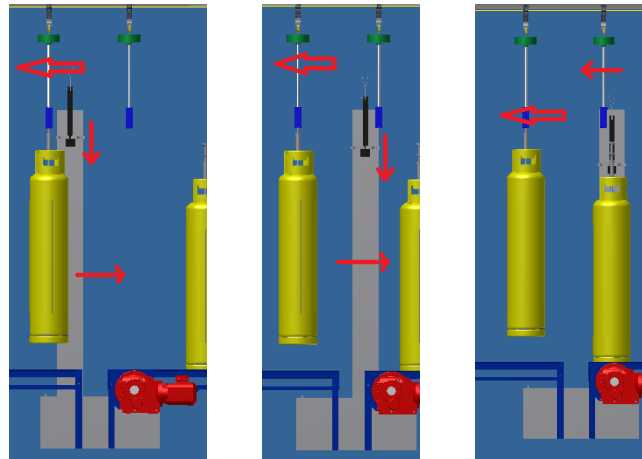


Figura 4.13 – Retorno à posição inicial

No caso de falha no acoplamento, os movimentos seriam:

- Fecho da garra (ou sistema semelhante) sobre a garrafa – Figura 4.8;
- Elevação da garrafa em simultâneo com o transporte horizontal de encontro ao pendural – Figura 4.9;
- Ativação do elemento de posicionamento do pendural relativamente à espiga – Figura 4.10;
- Desativação do elemento de posicionamento do pendural – Figura 4.14;
- Descida da garrafa até ao *buffer* – Figura 4.15;
- Abertura da garra (ou sistema semelhante) – Figura 4.16;
- Translação até à posição inicial – Figura 4.17.

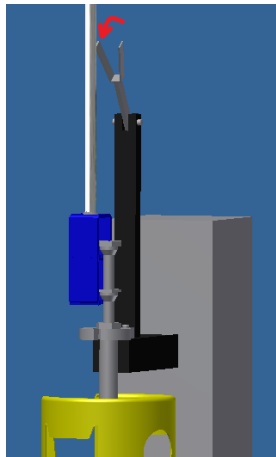


Figura 4.14 – Detecção da falha no posicionamento do pendural relativamente à espiga

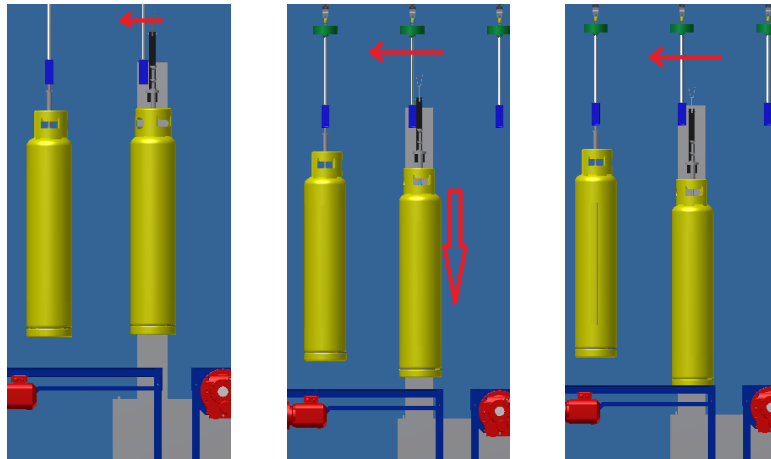


Figura 4.15 – Descida da garrafa até ao *buffer*

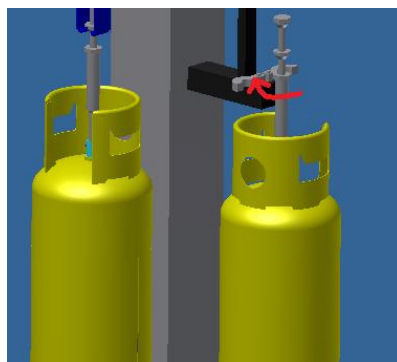


Figura 4.16 - Abertura da garra (ou sistema semelhante)

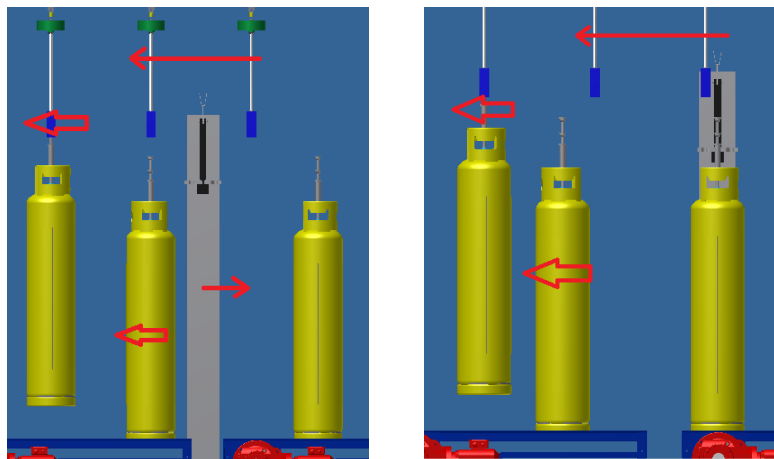


Figura 4.17 – Avanço da garrafa no *buffer* e retorno do sistema à posição inicial

Variação das Velocidades dos Movimentos

O tempo de ciclo, t_c , desta solução é calculado da mesma forma que o da solução anterior.

O tempo em que o movimento sincronizado deverá ser feito vai depender do curso de elevação, c_e .

Se $c_e > c_t$, sendo c_t o curso de translação, deverá definir-se a velocidade do movimento de subida/descida, ou seja:

$$t_{s/d} = \frac{t_c - t_{a/f} - t_{pd}}{2} \quad \text{Eq. 6}$$

$$v_{s/d} = \frac{c_e}{t_{s/d}} \quad \text{Eq. 7}$$

Se $c_t > c_e$ deverá ser estipulada a velocidade do movimento de translação:

$$t_t = \frac{t_c - t_{a/f} - t_{pd}}{2} \quad \text{Eq. 8}$$

$$v_t = \frac{c_t}{t_t} \quad \text{Eq. 9}$$

No caso de o acoplamento da espiga ao pendural não ser bem-sucedido, o movimento deverá ter outras limitações.

O movimento de descida será independente do movimento de translação de retorno à posição base e será necessário definir a velocidade do tapete que serve de *buffer* à garrafa não acoplada, para que esta não choque com a garrafa que vai no transportador aéreo à sua frente. Deverá evitar-se de igual forma o choque com a garrafa que atrás desta é transportada.

As velocidades de descida e translação de retorno à posição base devem ser tais que permitam que a soma do tempo que cada movimento leva seja o mesmo tempo que levaria o movimento simultâneo.

Assim, os tempos e velocidades para cada um dos movimentos deverão ser calculados pelas equações:

Se $c_e > c_t$:

$$t_d = t_{s/d} \times \left(1 - \frac{c_t}{c_e}\right) \quad \text{Eq. 10}$$

$$v_d = \frac{c_e}{t_d} \quad \text{Eq. 11}$$

$$t_t = t_{s/d} \times \frac{c_t}{c_e} \quad \text{Eq. 12}$$

$$v_t = \frac{c_t}{t_t} \quad \text{Eq. 13}$$

Em que:

t_d – tempo de descida

$t_{s/d}$ – tempo de subida calculado de igual forma ao anteriormente definido

v_d – velocidade de descida

Se $c_t \geq c_e$:

$$t_d = \frac{t_c - t_{a/f} - t_{pd}}{2} \times \frac{c_e}{c_t} \quad \text{Eq. 14}$$

$$v_d = \frac{c_e}{t_d} \quad \text{Eq. 15}$$

$$t_t = \frac{t_c - t_{a/f} - t_{pd}}{2} \times \left(1 - \frac{c_e}{c_t}\right) \quad \text{Eq. 16}$$

$$v_t = \frac{c_t}{t_t} \quad \text{Eq. 17}$$

4.1.3 Análise das soluções propostas

Os valores de velocidade do transportador, tempo de abertura e fecho da garra e da pequena descida da espiga e ainda o curso de translação são apenas estimados. Por se tratar de uma comparação a escolha destes parâmetros, se mantidos constantes em todos os casos, não influencia os resultados.

Garrafa de menor altura

Altura: 454 mm

$v_t = 40$ mm/s

$c_e = 1156$ mm

$c_t = 600$ mm

Tabela 4.1 – Valores de tempo e velocidades calculados para a garrafa de menor altura

Tempo de ciclo, t_c		15,4 s	
SOLUÇÃO 1		SOLUÇÃO 2	
Tempo de espera, t_e	1,6 s	Tempo de subida/descida, $t_{s/d}$	5,7 s
Tempo restante, t	13,8 s		
Tempo de subida/descida, $t_{s/d}$	4,9 s		
Velocidade de subida/descida, $v_{s/d}$	235,9 mm/s	Velocidade de subida/descida, $v_{s/d}$	203,3 mm/s
		Velocidade de translação, v_t	105,5 mm/s
FALHA			
		Tempo de descida, t_d	2,7 s
		Velocidade de descida, v_d	422,6 mm/s
		Tempo de translação, t_t	3,0 s
		Velocidade de translação, v_t	203,3 mm/s

O primeiro ponto a analisar na comparação das duas soluções é a menor velocidade exigida pela solução 2 na subida e descida da garrafa. Assim sendo, e se desejável, o sistema teria maior capacidade que o da solução 1 para reduzir os tempos de ciclo de forma a se aumentar a produção. Uma velocidade de subida/descida na solução 2 próxima da velocidade da solução 1, 235,9 mm/s, representaria uma redução de 1,6 s no tempo de ciclo, o que implicaria um aumento da produção de aproximadamente 60 garrafas por hora.

No caso de falha, seria necessária uma velocidade de descida demasiado elevada, perante a de funcionamento normal.

Garrafa de maior altura

Altura: 1408 mm

$v_t = 34 \text{ mm/s}$

$c_e = 202 \text{ mm}$

$c_t = 600 \text{ mm}$

Tabela 4.2 – Valores de tempo e velocidades calculados para a garrafa de maior altura

Tempo de ciclo, t_c		18,1 s	
SOLUÇÃO 1		SOLUÇÃO 2	
Tempo de espera, t_e	1,9 s	Tempo de translação, t_t	7,0 s
Tempo restante, t	16,2 s		
Tempo de subida/descida, $t_{s/d}$	6,1 s		
Velocidade de subida/descida, $v_{s/d}$	33,0 mm/s	Velocidade de translação, v_t	85,2 mm/s
		Velocidade de subida/descida, $v_{s/d}$	28,7 mm/s
FALHA			
		Tempo de descida, t_d	2,4 s
		Velocidade de descida, v_d	85,2 mm/s
		Tempo de translação, t_t	4,7 s
		Velocidade de translação, v_t	128,4 mm/s

Nas garrafas mais altas a solução 2 é limitada pela translação do sistema, sendo que a sua velocidade não é crítica e facilmente pode ser aumentada com vista à diminuição do ciclo de trabalho. Assim, se fosse utilizada uma velocidade de 150 mm/s reduziríamos 6 s por ciclo, o que representaria um aumento da produção de 100 garrafas por hora.

Comparação das duas soluções

Pelos valores anteriormente apresentados, verificou-se que a segunda solução traria grande vantagem à produção, dadas as diminuições possíveis do tempo de ciclo. No entanto, tendo em consideração que este é limitado pelos postos de pintura ou estufa, perde todo o significado a escolha de uma solução com base neste parâmetro.

Ainda assim, a solução 2 apresentou uma vantagem clara sobre a 1, a saída da garrafa para um *buffer* no caso de falha de acoplamento, para que esta não choque com a garrafa seguinte. Esta solução, como verificado, exigiria velocidades que poderiam ser demasiado elevadas para o sistema no caso das garrafas mais pequenas. Garantir tais velocidades poderia ser complicado e, apesar do benefício, as especificações exigidas não justificariam tal complexidade.

A integração das duas soluções numa poderá resultar na solução ideal a nível de cumprimento das tarefas exigidas, complexidade e custo. Por escolha da AMTROL-ALFA, o desenvolvimento do sistema da Fábrica #1 foi baseado na primeira solução mantendo-se da

segunda a função de confirmação do acoplamento da espiga ao pendural e o contorno de uma possível falha de forma mais controlada, que será uma mais-valia para cumprir as especificações exigidas.

A partir da escolha da solução a adotar e dos dados da Tabela 4.1 e da Tabela 4.2 concluiu-se que o sistema terá uma necessidade de velocidade máxima de, aproximadamente, 240 mm/s.

4.2 Escolha dos acionamentos dos movimentos principais

Na escolha dos acionamentos foi importante a análise dos sistemas já existentes na AMTROL-ALFA tendo sido, à partida, considerada como melhor opção o acionamento mecânico, por fuso e porca de esferas, para o movimento vertical do sistema, dada a sua grande rigidez funcional. Ainda assim, foi considerada e superficialmente analisada a possibilidade de ser utilizado um cilindro hidráulico para este movimento. Concluiu-se, no entanto, que dadas as baixas cargas a elevar, devidas aos baixos pesos das garrafas, um investimento na construção de uma central hidráulica e a complexidade associada ao sistema hidráulico em questão não traria vantagem ao sistema.

A escolha do motor para o acionamento do movimento de rotação do fuso, foi posterior ao desenvolvimento essencial da estrutura e outros elementos do sistema e será justificada na secção 4.3.4. *Motor*.

4.3 Desenvolvimento do sistema

O sistema desenvolvido foi baseado nos sistemas utilizados e fabricados na AMTROL-ALFA. No decorrer do projeto, a empresa demonstrou um claro interesse em manter a solução encontrada para o problema o mais próxima possível dos sistemas utilizados dentro da empresa em tarefas semelhantes. Assim, foi tido como ponto de partida o sistema implementado na Fábrica #5, o mais recentemente introduzido na AMTROL-ALFA, e foram-se adaptando as suas características às necessidades da linha de acabamento da Fábrica #1.

Para as tolerâncias, dimensões de furos, parafusos e outros elementos de desenho técnico e de construção mecânica foram utilizados como referência Moraes, 2007 e Almacinha, 2006.

Os desenhos de definição e de conjunto dos elementos mecânicos desenvolvidos ao longo do projeto podem ser encontrados no ANEXO B.

4.3.1 Estrutura de apoio aos diversos elementos

A estrutura projetada partiu de duas ideias iniciais, representadas nos esquemas da Figura 4.18 e da Figura 4.19.

A primeira traria ao fuso uma proteção contra poeiras e outros elementos (Figura 4.18), mas de forma a facilitar a acessibilidade seria necessário aparafusar a placa traseira, o que exigiria maiores custos de mão-de-obra e material. Para além disso seria de maiores dimensões, o que à partida levaria a um maior custo de aquisição.

Optou-se, pelos motivos anteriormente avançados, por utilizar a estrutura representada na Figura 4.19, protegendo-se o fuso, se necessário, com foles de proteção.



Figura 4.18 – Esquema da primeira hipótese de construção escolhida para a estrutura



Figura 4.19 – Esquema da segunda hipótese de construção escolhida para a estrutura (semelhante aos sistemas existentes na AMTROL-ALFA)

Inicialmente a estrutura foi projetada a partir de um tubo de secção quadrada com 220 x 220 mm e teria uma altura de 2000 mm dado o curso máximo pretendido ser de 1200 mm, considerando uma ligeira folga desde o curso máximo calculado (1156 mm). No entanto, com o avançar do projeto houve uma necessidade de se aumentar o curso de trabalho e percebeu-se também que o espaço livre necessário (espaço não utilizado pela carruagem) seria maior do que o inicialmente esperado. Assim selecionou-se uma estrutura com o mesmo perfil mas com 2900 mm de altura.

4.3.2 Garra

A construção do elemento que irá agarrar a espiga para elevar a garrafa foi limitada pelo diâmetro das garrafas a transportar e pela velocidade do transportador aéreo. Ter um sistema de garra de dois braços, semelhante ao da Fábrica #5, seria impossível pois na abertura/fecho um dos braços embateria nas garrafas no transportador aéreo.

Para este problema foi inicialmente pensada a solução de se construir o sistema apenas com um braço, o que implicaria uma de duas situações:

- a) A máquina para colocar as garrafas teria de ser simétrica da máquina para retirar;
- b) O local de montagem seria dependente do sentido do avanço do transportador aéreo.

Visto que uma das especificações para a construção do sistema é que as duas máquinas (colocar e retirar) sejam o mais semelhantes possível, a opção a) não seria viável. Já a segunda, apesar de possível, deveria ser evitada, dado este sistema poder vir a ser montado noutro local, o que poderia obrigar à montagem em lado não concordante com o avanço do transportador aéreo.

A solução encontrada para o problema foi criar um movimento da garra que permitisse não só que esta abrisse, mas que recuasse em simultâneo para se retirar do espaço onde as garrafas irão passar. Este movimento seria inicialmente garantido por um cilindro pneumático e guiado em três cames, uma para cada uma das mãos e a terceira para a barra de união entre o cilindro e as mãos. Esta terceira came é necessária para impedir que a barra se desloque na diagonal e acabe por encravar, impedindo o movimento. O desenho das garras seria, na sua primeira forma, essencialmente o mesmo do sistema implementado na Fábrica #5. A sequência de movimentos da garra pode ser observada na Figura 4.20.

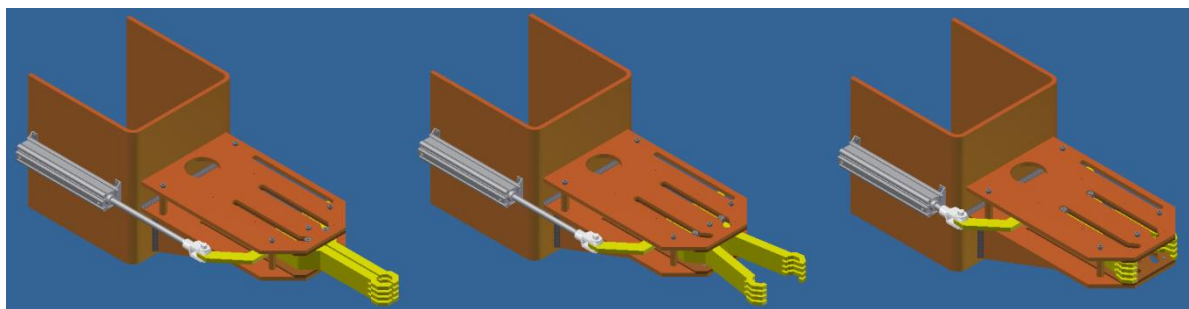


Figura 4.20 – Sequência de movimentos da garra

O desenho da estrutura base de apoio e sustentação da garra, assim como a carruagem, foi sendo desenhado mediante a inserção dos diferentes elementos.

O desenho dos dois elementos da garra seguiu o percurso representado na Figura 4.21. Inicialmente optou-se por um *design* semelhante ao das garras dos sistemas existentes na AMTROL-ALFA e de acordo com as necessidades, este foi sendo alterado.

A primeira alteração deveu-se à necessidade de inserção de um detetor na garra para detetar o acoplamento, ou a sua falha, da espiga ao pendural. Criou-se, através de um desbaste, um espaço onde este detetor pudesse ser montado e eliminaram-se os rasgos existentes que apenas teriam um papel estético.

A segunda alteração seguiu-se à primeira, desta vez devida à dificuldade de construção da garra, ao desperdício de material e ao seu elevado peso (aproximadamente 6 kg cada parte). A solução para a diminuição do peso e desperdício de material foi criar uma estrutura soldada, composta por quatro elementos:

- Duas placas cortadas por laser, superior e inferior, que darão a forma à garra;
- Uma alma, em chapa quinada, que sustentará a estrutura;
- Um veio cortado, que ajudará na sustentação de toda a estrutura.

A terceira e última alteração deveu-se ao reposicionamento do detetor. Para o poder encastrar na chapa superior, a espiga teria de ser alterada para que fosse detetada quando posicionado no centro da garra (Figura 4.22). Esta alteração levaria a um desperdício de material considerável (desbaste a partir de um varão sextavado de 60 mm de largura). Logo, colocando o detetor na posição lateral, a alteração limitar-se-á apenas a uma diminuição do comprimento da zona de maior diâmetro do varão. As alterações ao conjunto espiga/pendural estão explicadas na secção 4.6 deste documento.

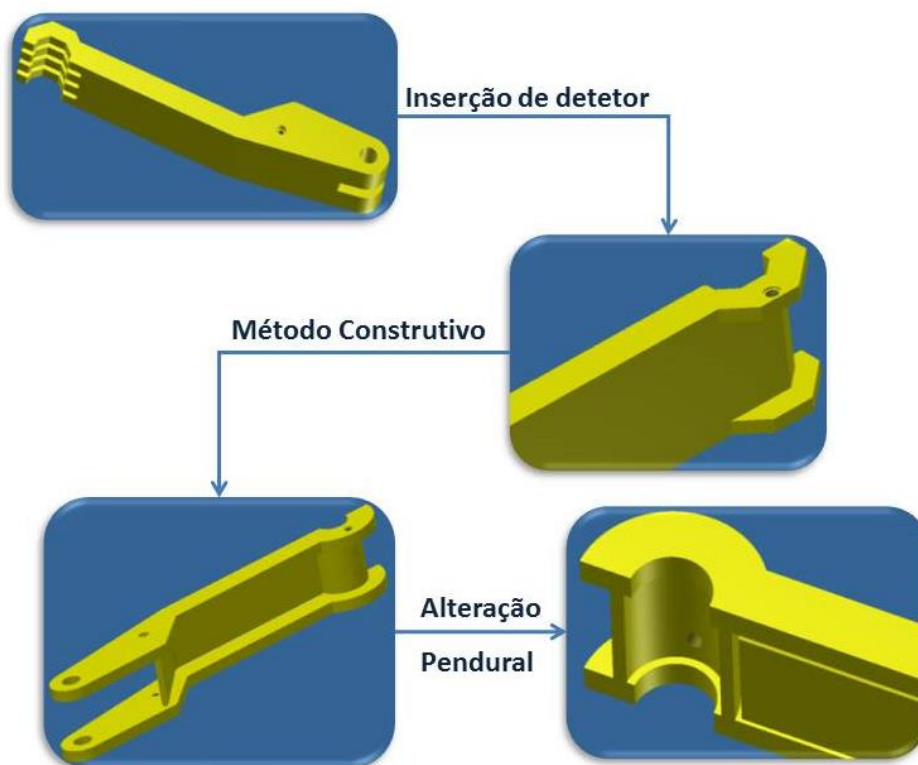


Figura 4.21 – Sequência de alterações ao *design* e tipo construtivo dos elementos da garra

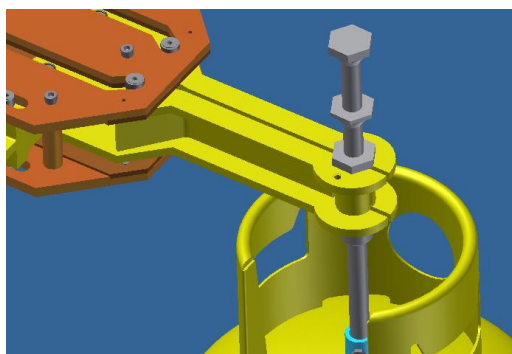


Figura 4.22 – Pormenor da espiga quando agarrada

Dado o deslizamento de aço sobre aço, provocado pelo contacto da garra com a estrutura, ter um coeficiente de atrito estático relativamente alto, 0,8 (Paradigm, 2013), acabou por se colocar chapas de bronze fosforoso na zona de deslizamento. Para além do menor coeficiente de atrito, a existência de duas placas substituíveis permite que facilmente sejam trocadas quando estiverem desgastadas, mesmo este desgaste sendo lento, pelo facto de o movimento se dar sempre sem carga.

Tal como explicado atrás, inicialmente a garra seria apenas movimentada por um cilindro que daria movimento a um corpo que ligaria as duas partes da garra. No entanto, por uma questão de simetria, optou-se pela utilização de dois cilindros para fazer o movimento, dividindo-se pelos dois o esforço de empurrar o corpo de ligação (Figura 4.23).

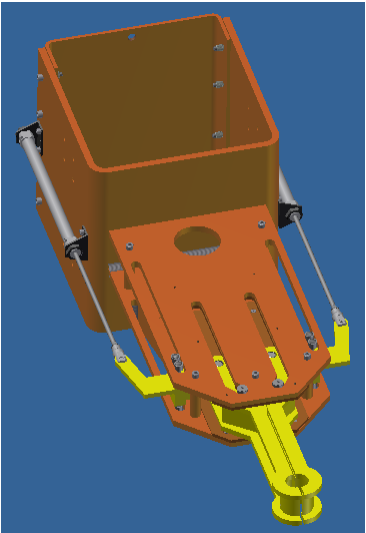


Figura 4.23 – Aspeto final da garra e carruagem

Para a escolha dos cilindros de acionamento do movimento da garra seguiram-se os passos descritos na Tabela 4.3. Foi considerada uma distribuição igual pelos dois cilindros do esforço de arranque devido à massa.

Tabela 4.3 – Parâmetros de seleção do cilindro de acionamento do movimento da garra

Fórmulas utilizadas		
DADOS DE ENTRADA	$m \approx 7 \text{ kg}$ $a \approx 1,25 \text{ m/s}^2$ $\mu_a = 0,35^{14}$ $F \approx 77,8 \text{ N}$	$F = m \times a + P \times \mu_a$ P – peso μ_a – coeficiente de atrito estático
PARÂMETROS DE SELEÇÃO	$\Phi_{emb} \geq 12,8 \text{ mm}$ $L \geq 240 \text{ mm}$	$F = p \times A$ $p = 6 \text{ bar}$
CARATERÍSTICAS SELECIONADAS	$\Phi_{emb} = 20 \text{ mm}$ $L = 250 \text{ mm}$	

Foram selecionados cilindros da série CM2 da SMC. A escolha de um diâmetro do êmbolo de 20 mm deveu-se a este ser o menor diâmetro para cilindros desta série.

¹⁴ Coeficiente de atrito estático entre aço/bronze (Paradigm, 2013)

4.3.3 Fuso

Inicialmente a seleção do fuso foi feita através da aplicação de seleção no *site* da REXROTH. Foram utilizados os dados representados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Parâmetros de seleção do fuso e fêmea de esferas

		Fórmulas utilizadas
DADOS DE ENTRADA	$v_{\max} \approx 14,4 \text{ m/min}$ $a_{\max} \approx 0,52 \text{ m/s}^2$ $F_{\max} \approx 1400 \text{ N}$ $C_{\max} = 1200 \text{ m}$ $n = 1500 \text{ rpm}$	$F_{\max} =$ $= (m_{gar} + m_{garra}) \times g$ $m_{garrafa} = 55 \text{ kg}$ $m_{garra} \approx 85 \text{ kg}$ $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
PARÂMETROS DE SELEÇÃO	$\text{Passo} \geq 9,6 \text{ mm}$ Diâmetro mínimo (função L)	$p = \frac{v_{\max}}{n}$
CARACTERÍSTICAS SELECIONADAS	$p = 20 \text{ mm}$ $\Phi_{\text{emb}} = 40 \text{ mm}$ $L = 2000 \text{ mm}$	

A escolha de um passo de 20 mm e não de 10, 12 ou 16mm (valores também disponíveis) deveu-se a que com este valor não serão necessárias velocidades de rotação tão elevadas para se conseguirem as velocidades lineares requeridas pelo sistema.

Após a seleção inicial do fuso procedeu-se à escolha do motor de acionamento, cuja seleção se encontra justificada na secção 4.3.4. *Motor*. Após esta etapa foi necessário recalcular os parâmetros de seleção do fuso dado a velocidade atingida pelo servomotor escolhido ser o dobro da inicialmente considerada. Desta forma, foi possível reconsiderar as velocidades lineares e criaram-se algumas limitações às velocidades e rampas de aceleração/desaceleração para diferentes intervalos de alturas das garrafas. A partir dos limites foi possível desenhar os ciclos de trabalho do sistema para as garrafas de alturas limite, Gráfico 4.1 e Gráfico 4.2, e a partir destes fazer uma seleção do fuso mais adaptada às funções do sistema. A velocidade máxima do sistema foi aumentada de 240 mm/s para 280 mm/s e foram colocadas as restrições apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Restrições de velocidade e tempo de aceleração/desaceleração

ALTURA GARRAFA (mm)	VELOCIDADE (mm/s)	RAMPA (m/s ²)
[440 ; 1197]	280	0,5
[1197 ; 1450]	200	0,5
DESCIDA PARA ACOPLAMENTO ESPIGA/PENDURAL		
[440 ; 1450]	100	0,25

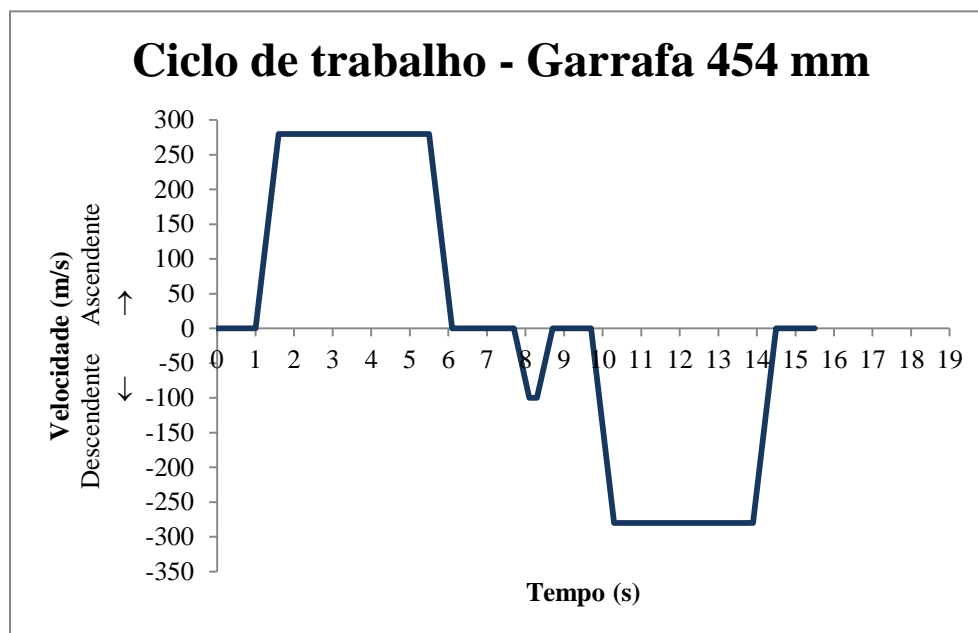


Gráfico 4.1 – Ciclo de trabalho de uma garrafa com 454 mm de altura

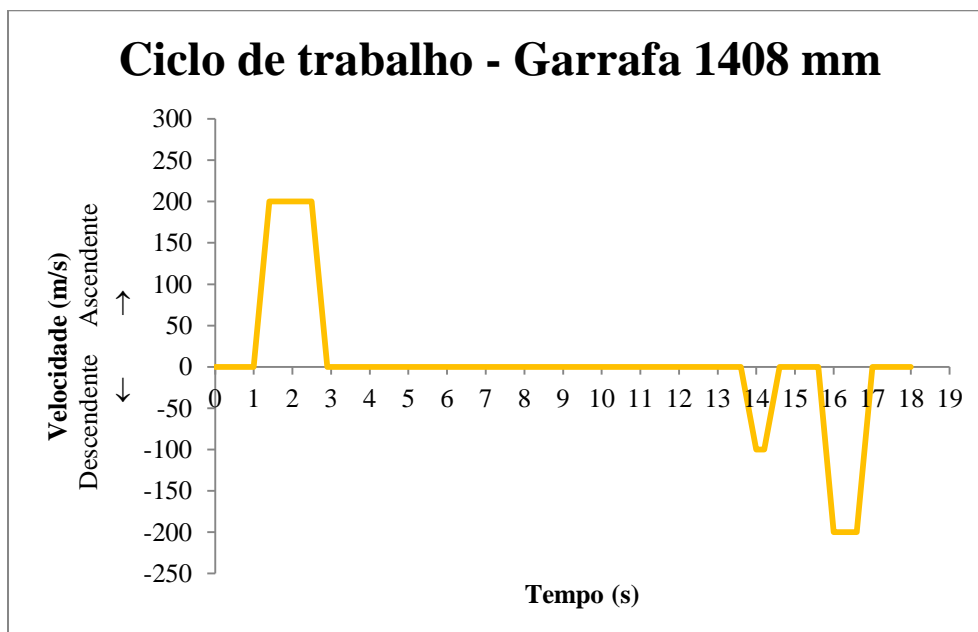


Gráfico 4.2 – Ciclo de trabalho de uma garrafa com 1408 mm de altura

Para se poder avançar com os novos valores de velocidade e os ciclos de trabalho correspondentes foi necessário confirmar se os tempos de espera destes ciclos se encontravam de acordo com os tempos de espera exigidos, calculados na secção 4.1.3 *Análise das Soluções Propostas*. Segundo os cálculos efetuados, o tempo de espera mínimo para a garrafa de menor altura seria de 1,6 s e para a garrafa de maior altura 1,9 s. Com estes ciclos de trabalho têm-se, para a garrafa menor um tempo de espera de 2,2 s e para a garrafa maior 11,5 s o que se encontra acima dos tempos de espera mínimos exigidos.

Para a nova escolha do fuso utilizou-se o guia de seleção fornecido no *site* da NSK, mais especificamente o tutorial *B-2-16 Ball Screw Selection Exercise* (Motion & Control | NSK, 2013). Os passos seguidos encontram-se descritos na Tabela 4.6 e na Tabela 4.8.

Tabela 4.6 – Dados de entrada para a seleção do fuso segundo (Motion & Control | NSK, 2013)

Fórmulas utilizadas		
DADOS DE ENTRADA	$m_{\text{estrutura}} = 85 \text{ kg}$	
	$m_{\text{gar.454}} = 11 \text{ kg}$	
	$m_{\text{gar.1408}} = 55 \text{ kg}$	
	$C_{\text{max}} = 1\ 600 \text{ mm}$	
	$v_{\text{max}} \approx 16\ 800 \text{ mm/min}$	
	Vida útil = 24 000h	
	$n_{\text{max}} = 3\ 000 \text{ rpm}$	
	Apoio duplo – Apoio simples	
		$\text{Vida útil} = \frac{\text{horas/dia}}{\times \text{dias/ano}} \times \text{anos}$

Tabela 4.7 – Seleção inicial das principais características segundo (Motion & Control | NSK, 2013)

Fórmulas utilizadas		
PASSO	$p \geq 5,6 \text{ mm}$ Passo selecionado = 20 mm	$p \geq \frac{v_{\text{max}}}{N_{\text{max}}}$
COMPRIMENTO	$L \geq 2\ 200 \text{ mm}$ Comp. total = 2 200 mm	$L \geq C_{\text{max}} + A + PA + E$ Alt. estrutura garra: A = 350 mm Zonas de apoio: PA = 150 mm Margem de erro: E = 100 mm
DIÂMETRO	$\Phi \geq 31,43 \text{ mm}$	$\Phi \geq L/70$

Tabela 4.8 – Alteração das características principais em função da segurança básica (Motion & Control | NSK, 2013)

Fórmulas utilizadas		
CARGAS AXIAIS	<p>Aceleração/desaceleração:</p> $\alpha_1 = 0,5 \text{ m/s}^2 ; \alpha_2 = 0,5 \text{ m/s}^2$ $\alpha_3 \approx 0,25 \text{ m/s}^2$ <p>Forças gar. 454 mm:</p> $F_1=893,76 \text{ N}; F_2/F_5=941,76 \text{ N}$ $F_3/F_4=989,76 \text{ N}; F_6/F_9=855,10 \text{ N}$ $F_7=791,35 \text{ N}; F_8=833,85 \text{ N}$ <p>Forças gar. 1408 mm:</p> $F_1=1303,40 \text{ N}; F_2/F_5=1373,40 \text{ N}$ $F_3/F_4=1443,40 \text{ N}; F_6/F_9=855,10 \text{ N}$ $F_7=791,35 \text{ N}; F_8=833,85 \text{ N}$	<p>α – Tabela 4.5</p> $F_1 = (m_{est} + m_{gar}) \cdot (9,81 - \alpha_1)$ $F_2/F_5 = (m_{est} + m_{gar}) \cdot 9,81$ $F_3/F_4 = (m_{est} + m_{gar}) \cdot (9,81 + \alpha_1)$ $F_6/F_9 = m_{est} \cdot (9,81 + \alpha_3)$ $F_7 = m_{est} \cdot (9,81 - \alpha_1)$ $F_8 = m_{est} \cdot 9,81$
	CARGA DE ENCURVADURA	$\Phi \geq 15,69 \text{ mm}$ $\Phi \geq \left(\frac{F_{max} \cdot L_l^2}{\gamma_1} \cdot 10^{-4} \right)^{\frac{1}{4}}$ <p>Comp. livre - $L_l = 2200-150$ [mm]</p> <p>γ_1 – Tabela 4.9</p>
	VELOCIDADE DE ROTAÇÃO PERMITIDA	$\Phi \geq 23,38 \text{ mm}$ $\Phi = 40 \text{ mm}$ $\Phi \geq \frac{n \cdot L_l^2}{\gamma_2} \cdot 10^{-7}$ <p>γ_2 – Tabela 4.9</p> <p>n – velocidade de rotação máxima efetiva – Tabela B.1 do Anexo B</p>

Tabela 4.9 – Valores dos fatores de carga de encurvadura e fator de velocidade crítica (Motion & Control | NSK, 2013)

CONDIÇÕES DE SUPORTE	Fator de carga de encurvadura γ_1	Fator de velocidade crítica γ_2
Fixo - Fixo	19,9	21,9
Fixo – Apoio Simples	10,0	15,1
Fixo - Livre	1,2	3,4
Apoio simples – Apoio simples	5,0	—

Os rolamentos das chumaceiras inferior e superior foram selecionados através da carga dinâmica equivalente, C_a , e da carga estática equivalente, C_{0a} . Estes cálculos foram também seguidos pelo tutorial *B-2-16 Ball Screw Selection Exercise* (Motion & Control | NSK, 2013). Para auxiliar o cálculo construíram-se as Tabelas C.1 e C.4 e seguiram-se os passos

representados nas Tabelas C.2 e C.5 do Anexo C. A seleção dos rolamentos foi feita tendo em consideração os dados representados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Seleção dos rolamentos de apoio do fuso (Rolamentos FAG Ltda., 1999)

	CHUMACEIRA INFERIOR	CHUMACEIRA SUPERIOR
Tipo de rolamento	de contacto angular de esferas	fixo de esferas
C_{amax} [kN]	15,79	
C_{0amax} [kN]	2,89	
Diâmetro do eixo [mm]	25	30
Rolamento selecionado	3305-DA-TVP	6306-2RSR
Carga dinâmica [kN]	30	23,2
Carga estática [kN]	36,5	16,2

Os esforços provocados pelo veio serão maioritariamente axiais, apesar de surgirem esforços radiais devidos à rotação do veio. Por isso, para a chumaceira inferior selecionou-se um rolamento de contacto angular de duas carreiras de esferas, com boa aptidão para suportar esforços radiais e axiais em ambos os sentidos. A escolha de um rolamento de duas carreiras, em prol de uma montagem de dois rolamentos de contacto angular de uma carreira, deveu-se ao menor custo e à maior facilidade de montagem. A seleção de um rolamento da série DA prendeu-se com a capacidade de admitir cargas axiais elevadas devido ao ângulo de 45° (superior aos 35° das séries normais). A chumaceira e a montagem do rolamento foram feitas de forma a que este fosse totalmente fixo na parte inferior (Figura 4.24).

O apoio superior servirá apenas para guiamento do fuso e para absorver pequenas cargas radiais devidas à rotação e, como tal, foi selecionado um rolamento fixo de esferas com boa aptidão para admitir cargas radiais e de baixo custo. A sua montagem foi feita garantindo um apoio com deslizamento para que alterações dimensionais do fuso, devidas à temperatura, possam ser compensadas. As chumaceiras e a montagem dos rolamentos podem ser encontradas na Figura 4.24.

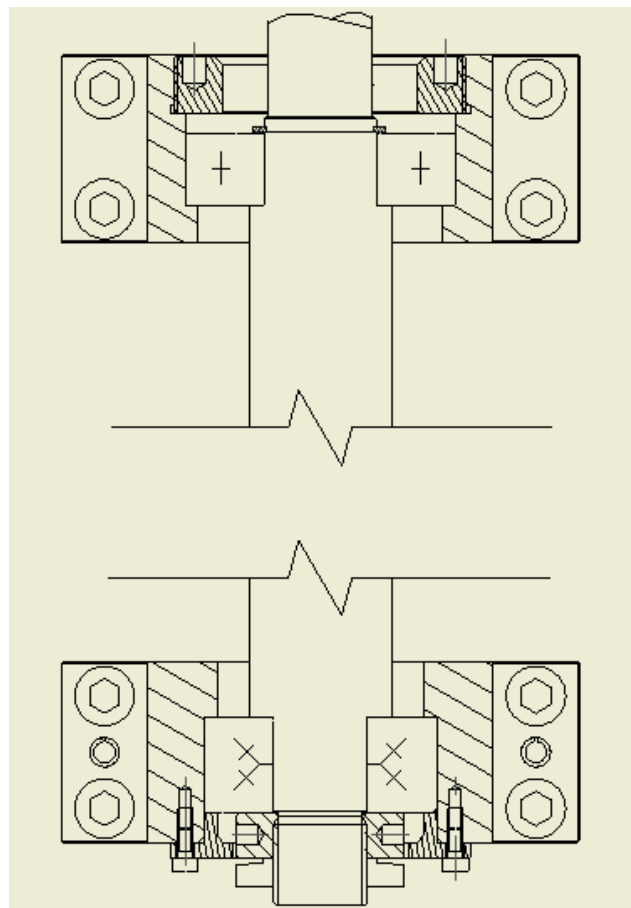


Figura 4.24 – Desenho 2D das chumaceiras de apoio do fuso

A folga para acomodação das alterações dimensionais devidas à temperatura foi calculada tendo em conta que os fusos são fabricados em aço de alta qualidade, aço para rolamentos e aço de cementação e admitem temperaturas de serviço contínuo de 80 °C e uma temperatura de 100 °C para períodos curtos (Rexroth - Bosch Group, 2001). O coeficiente de expansão térmica linear para este tipo de aços não ultrapassa os 20 μ deformação/°C e este é definido como (Granta Design Limited, 2012):

$$\alpha = \frac{1}{L} \frac{\Delta L}{\Delta T} [\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}]$$

Em que:

L – comprimento de funcionamento do fuso ($L=2080$ mm)

ΔL – expansão linear do fuso (mm)

ΔT – intervalo máximo de temperatura (considerando temperatura ambiente 25 °C)

Então, com um comprimento do fuso de 2080 mm e uma temperatura de serviço máxima de 100 °C ($\Delta T = 100 - 25 = 75$ °C) teremos uma expansão máxima possível de 3,12 mm. Construiu-se por isso uma chumaceira com uma folga de 3,5 mm entre o anel elástico e a porca de segurança.

4.3.4 Motor

Na escolha do motor foi inicialmente considerada a utilização de um motor de ataque direto, dado serem necessárias para o sistema altas velocidades e um baixo binário – Tabela 4.11. Foram postos em consideração dois motores trifásicos semelhantes de diferentes potências, 0,55 ou 0,75 kW.

Com o avançar do projeto, surgiu a necessidade de este motor realizar também um movimento a uma velocidade significativamente inferior à velocidade máxima necessária e, como tal, foi necessário reconsiderar a escolha inicial. Assim, pelas necessidades de variação de velocidade e pelas exigências do sistema quanto ao tempo de ciclo, horas de trabalho anuais e controlo em posição foi sugerida a inserção de um servomotor para acionamento do fuso. Esta solução sobrepôs-se em vantagens à anteriormente considerada e economicamente não trouxe um aumento significativo.

Foi escolhido um servomotor síncrono da gama CMP da SEW, com binário nominal de 5,3 N.m, com *resolver* e freio integrados.

Tabela 4.11 – Parâmetro de seleção do motor de acionamento do fuso (Rexroth - Bosch Group, 2001)

Fórmulas utilizadas		
DADOS DE ENTRADA	$v_{\max} = 0,28 \text{ m/s}$ $v_{\min} = 0,1 \text{ m/s}$ $a_{\max} = 0,5 \text{ m/s}^2$ $F \approx 1443,4 \text{ N}$	
PARÂMETROS DE SELEÇÃO	$Pot_{ef} > 0,36 \text{ kW}$ $B_{ar} > 6,38 \text{ N.m}$ $B_{re} > 4,59 \text{ N.m}$ $n_{nec} = 840 \text{ rpm}$	$Pot = \frac{F \times v}{1000}$ $B_{ar} = \frac{F \cdot p \cdot S}{2000 \cdot \pi \cdot \eta}$ $B_{re} = \frac{F \cdot p \cdot S \cdot \eta'}{2000 \cdot \pi}$ $n_{nec} = \frac{v_{\max} \cdot 60}{p}$ <p>Pot – potência B_{ar} – Binário de arranque B_{re} – Binário resistente η e η' - Rendimentos S^{15} – F.S. (1,25)</p>
CARATERÍSTICAS SELECIONADAS	$B_n = 5,3 \text{ N.m}$ $B_p = 21,4 \text{ N.m}$ $n = 3000 \text{ rpm}$	B_n – Binário nominal B_p – Binário pico dinâm.

¹⁵ (INA Rodamientos, s.a., 2002)

4.3.5 Guias Lineares e Patins de Guiamento

A decisão de se guiar a estrutura em quatro patins prendeu-se com a durabilidade que se exige ao sistema. Distribuir os esforços pelos dois lados da estrutura e por dois patins em cada uma das laterais permite que a solicitação a cada patim seja razoavelmente menor e assim se aumente a sua durabilidade. Os patins e a respetiva guia foram selecionados do catálogo de sistema de guiamento linear da INA (INA Iberia, s.l., 2004).

Tabela 4.12 - Parâmetro de seleção do motor de acionamento do fuso

Fórmulas utilizadas		
DADOS DE ENTRADA	$M_{0y} = 595 \text{ N.m}$ $M_{0z} = 221 \text{ N.m}$	
PARÂMETROS DE SELEÇÃO	$M_{0y} \geq 595/4 \text{ (149 N.m)}$ $M_{0z} \geq 221/4 \text{ (56 N.m)}$	
CARATERÍSTICAS SELECIONADAS	$M_{0y} = 395 \text{ Nm}$ $M_{0z} = 395 \text{ Nm}$	

4.4 Análise Estrutural da Garra

Dados os elementos da garra, a sua estrutura e a carruagem estarem sujeitos ao esforço provocado pelo peso das garrafas a transportar, foi necessário fazer-se uma análise estrutural dos elementos principais de forma a se tirarem conclusões sobre a capacidade da estrutura aguentar os esforços aos quais estará sujeita. A estrutura principal de suporte não fez parte desta análise dado os esforços serem maioritariamente absorvidos pelos patins de deslizamento. Utilizou-se o *software Abaqus/CAE 6.12-3* que permitiu fazer uma análise através do Método dos Elementos Finitos.

4.4.1 Elementos da estrutura a analisar e propriedades mecânicas atribuídas

Foram submetidos à análise apenas os elementos sujeitos aos maiores esforços. Como se pode ver na Figura 4.25, estes elementos são as duas partes da garra, as bases superior e inferior da estrutura, os espaçadores de fixação das duas bases, as placas de bronze sobre as quais a garra deslizará e a chapa quinada de ligação da garra ao corpo principal do sistema (carruagem).

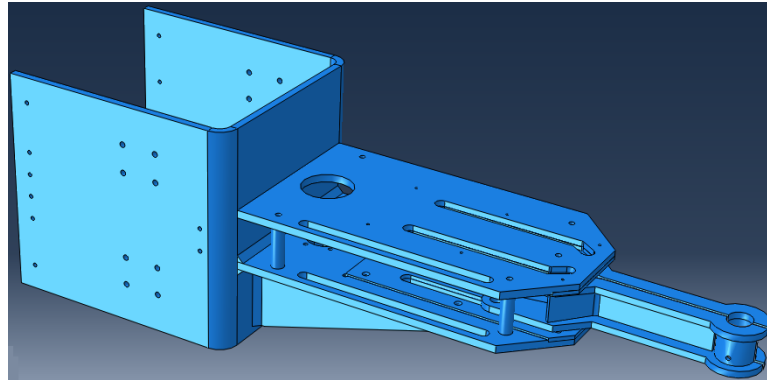


Figura 4.25 – Elementos da garra submetidos a análise

Para o estudo foram utilizados dois materiais aplicados aos diferentes elementos cujas propriedades mecânicas podem ser consultadas na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Propriedades mecânicas dos materiais associados a cada elemento (Granta Design Limited, 2012)

E (GPa)	ν	Elemento
210	0,33	Chapa Quinada, Bases superior e inferior, Espaçadores e Garra
90	0,35	Placas de Bronze

4.4.2 Condições de fronteira e de contacto e cargas aplicadas

A estrutura base da garra foi fixada com encastramento na zona de montagem da fêmea de esferas do fuso tal como pode ser observado na Figura 4.26.

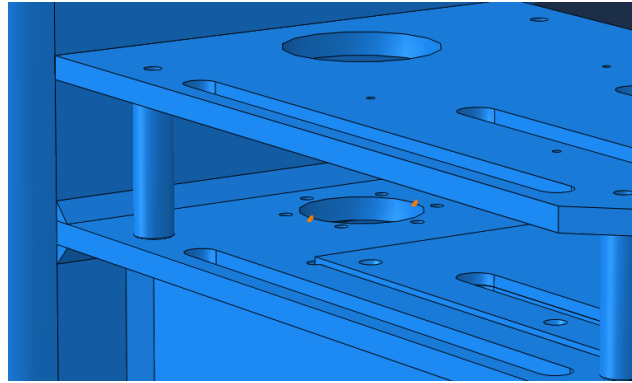


Figura 4.26 – Representação do encastramento da estrutura

Adicionalmente impediram-se os movimentos das duas partes da garra na direção x, segundo o sistema de eixos representado na Figura 4.27.

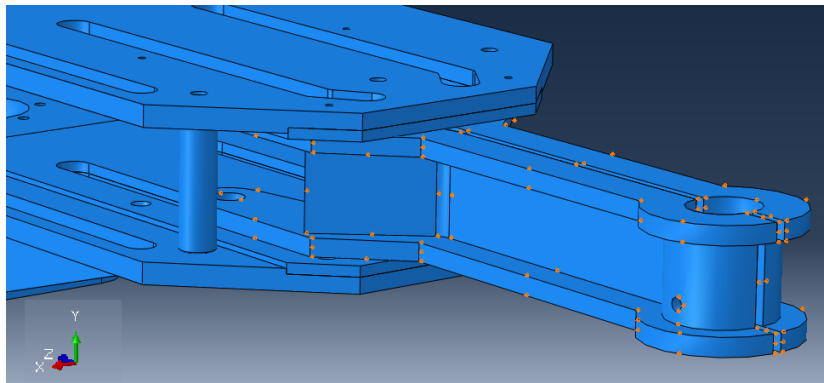


Figura 4.27 – Representação da restrição de movimentação em x

Para simular o contacto das peças aparafusadas foi utilizado um *Constraint* do tipo *Tie* que mantém as faces em contacto durante a solicitação. Para o contacto entre a garra e as placas de bronze aplicou-se uma *Interaction* do tipo *Surface-to-surface contact* com *Small sliding* e método de discretização *Node to surface*. Selecionou-se a restrição *Adjust only to remove overclosure* e definiu-se para a propriedade do contacto uma formulação de fricção do tipo *Penalty* com coeficiente de atrito 0,35 (Paradigm, 2013).

Foram aplicadas a um nó de cada uma das partes da garra duas cargas, representantes do peso da garrafa. Estas têm a direção y com sentido descendente, cuja amplitude foi sendo variada de forma a se analisarem diferentes casos de distribuição do peso na garra. Na Figura 4.28 vêem-se duas setas amarelas representantes destas cargas.

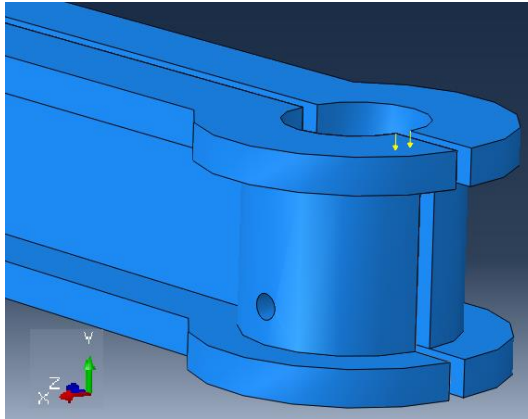


Figura 4.28 – Direção e sentido da carga aplicada

4.4.3 Resultados e respetiva análise

Peso distribuído igualmente entre as duas partes

Na primeira situação simulada considerou-se uma distribuição do peso de igual modo pelas duas partes da garra. Assim aplicaram-se duas cargas de 300 N cada de forma a totalizar 600 N de carga total, por majoração do valor real da carga máxima a que o sistema estará sujeito ($55 [kg] \times 9,81 [m/s^2] = 539,55 [N]$).

Obteve-se a distribuição de tensões representada na Figura 4.29 e na Figura 4.30 e os deslocamentos representados na Figura 4.31 e na Figura 4.32. As imagens encontram-se a uma escala 100:1 na representação das deformações.

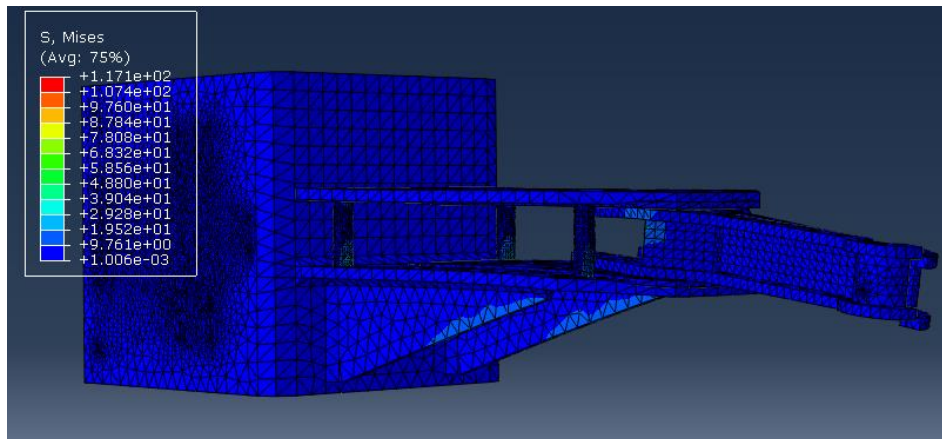


Figura 4.29 – Distribuição de tensões obtida para a 1ª simulação

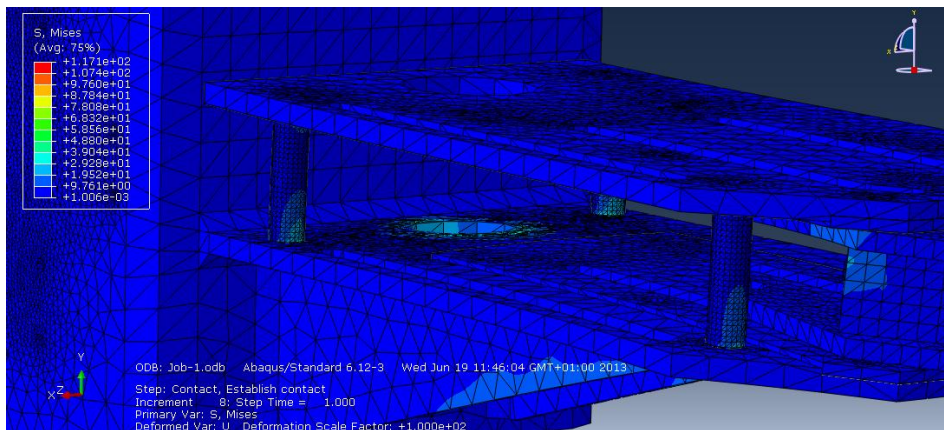


Figura 4.30 – Pontos sujeitos a maior tensão decorrentes da 1ª simulação

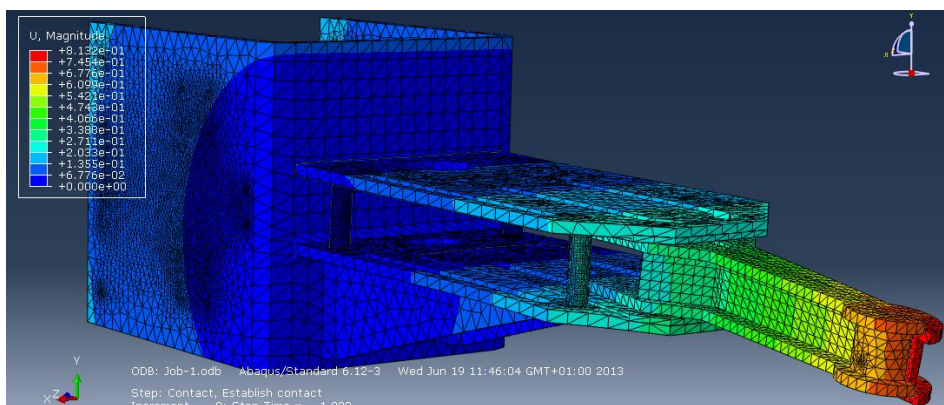


Figura 4.31 – Deslocamentos obtidos a partir da 1ª simulação

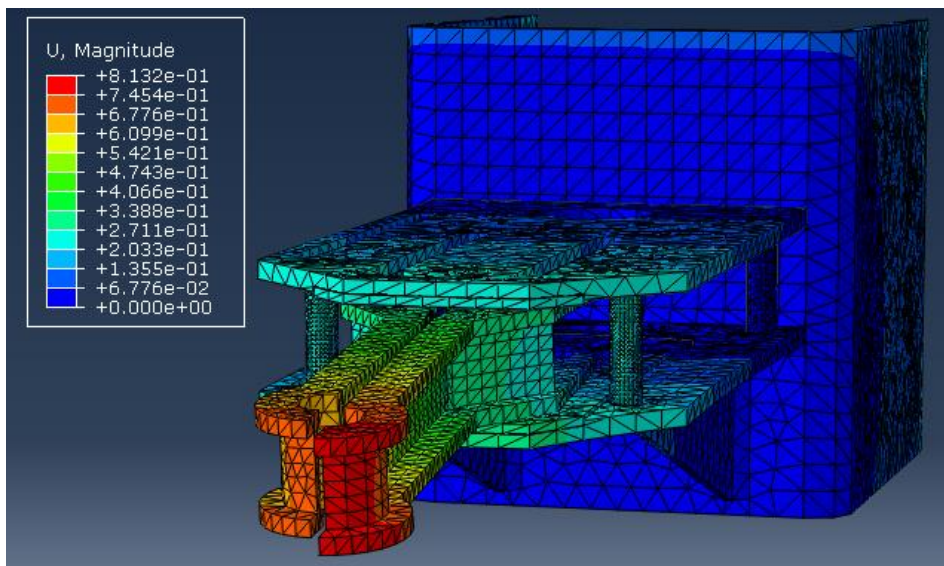


Figura 4.32 – Pormenor da garra, elemento que sofreu maiores deslocamentos

Através da análise dos gráficos pode-se concluir que a tensão máxima a que a garra e sua estrutura estarão sujeitas rondará os 40 MPa e desta forma nenhum dos elementos entrará em regime plástico dado que a tensão de limite elástico de um aço ultrapassará os 200 MPa.

Quanto aos deslocamentos verifica-se no gráfico da Figura 4.31 e da Figura 4.32 que a parte direita da garra sofrerá o maior deslocamento com uma magnitude entre 0,75 e 0,81

mm, aproximadamente. Pode-se afirmar pelo valor deste deslocamento que a estrutura não sofrerá deslocamentos críticos.

Maior distribuição do peso na parte direita da garra

Na segunda situação simulada considerou-se uma maior distribuição do peso sobre a parte direita da garra, sendo aplicada a esta uma carga de 500 N. Para a carga aplicada à parte esquerda da garra foi considerada uma magnitude de 100 N.

Os resultados obtidos estão apresentados da Figura 4.33 à Figura 4.36.

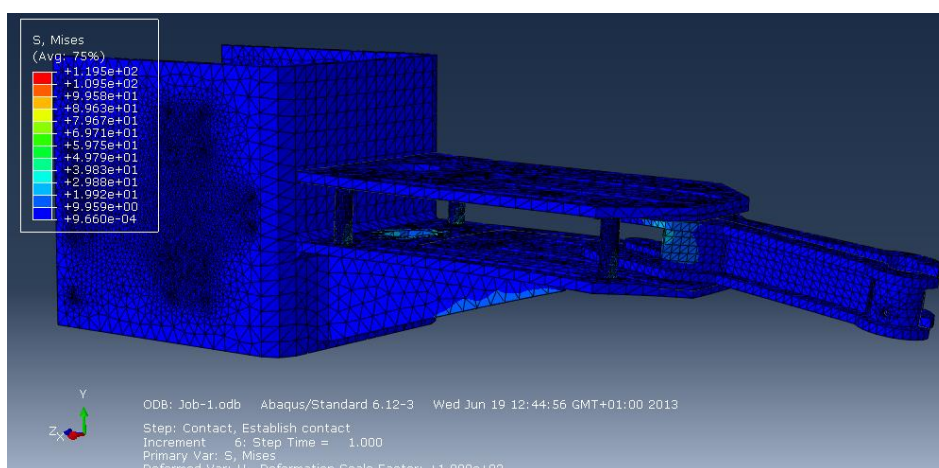


Figura 4.33 – Distribuição de tensões obtida para a 2ª simulação

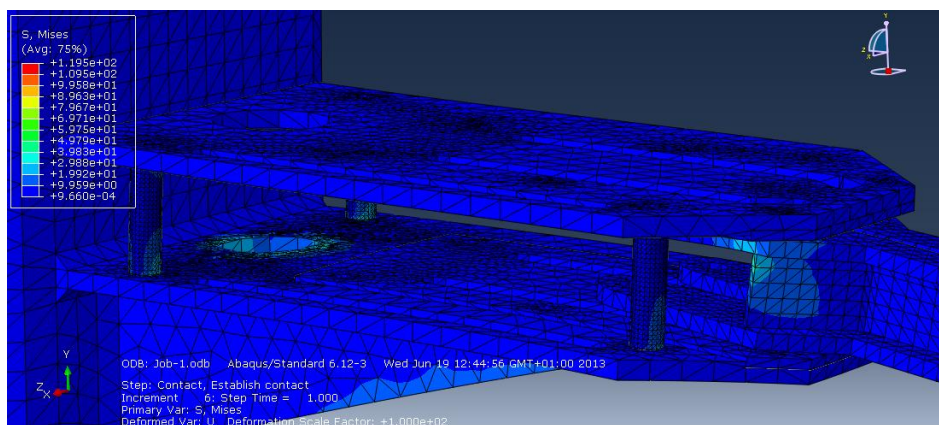


Figura 4.34 – Pontos sujeitos a maior deformação quando aplicadas as cargas da 2ª simulação

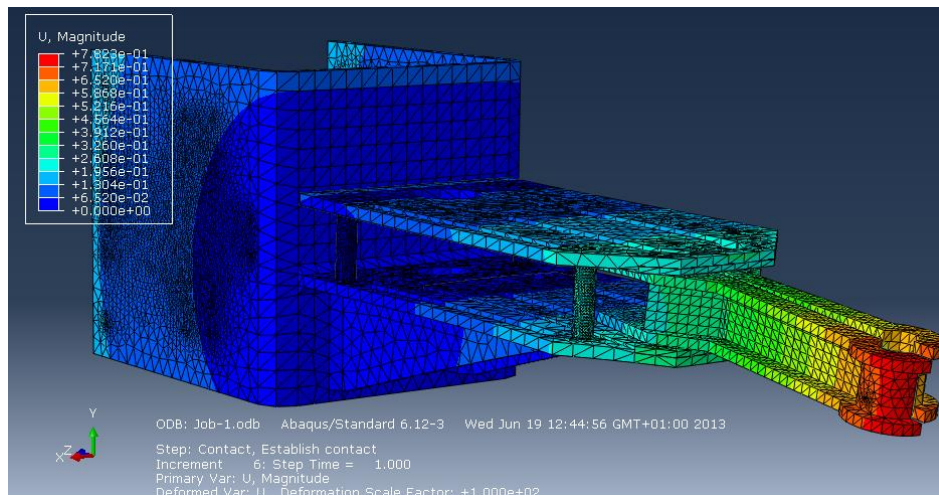


Figura 4.35 – Deslocamentos da estrutura durante a 2ª simulação

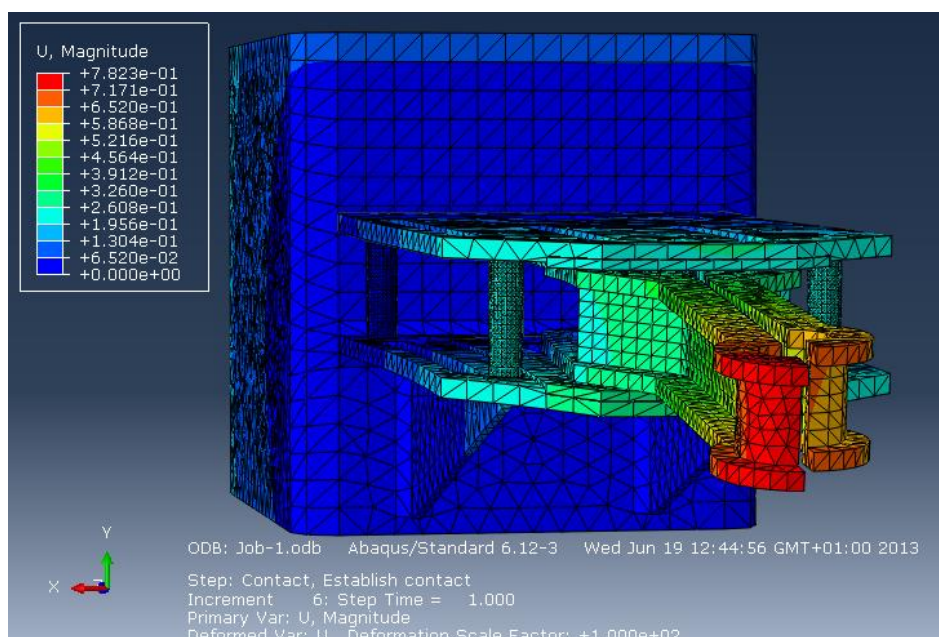


Figura 4.36 – Pormenor dos elementos sujeitos a maior deformação na 2ª simulação

Dos gráficos anteriores extraem-se os seguintes resultados:

- Tensão máxima: $\sigma \approx 40$ MPa
- Deslocamento máximo: $0,72 < \delta > 0,78$ mm

Verifica-se que a tensão máxima a que a estrutura estará sujeita será muito próxima da tensão máxima obtida na primeira simulação, o que indica que não haverá qualquer problema de plasticidade mesmo quando o peso não for uniformemente distribuído pelas duas partes da garra. Conclui-se também que o deslocamento máximo será próximo do anteriormente obtido apesar de se verificar desta vez na parte direita da garra.

Maior distribuição de peso na parte esquerda da garra

Na terceira e última simulação considerou-se a situação oposta à anterior. Foi aplicada à parte esquerda da garra uma carga de 500 N e à parte direita uma carga de 100 N.

Os resultados encontram-se representados da Figura 4.37 à Figura 4.40.

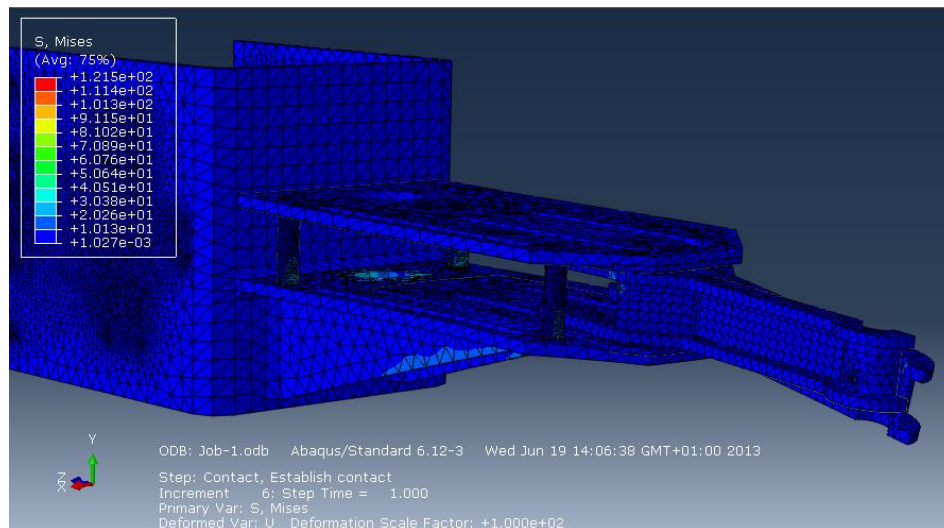


Figura 4.37 – Distribuição de tensões obtida na 3ª simulação

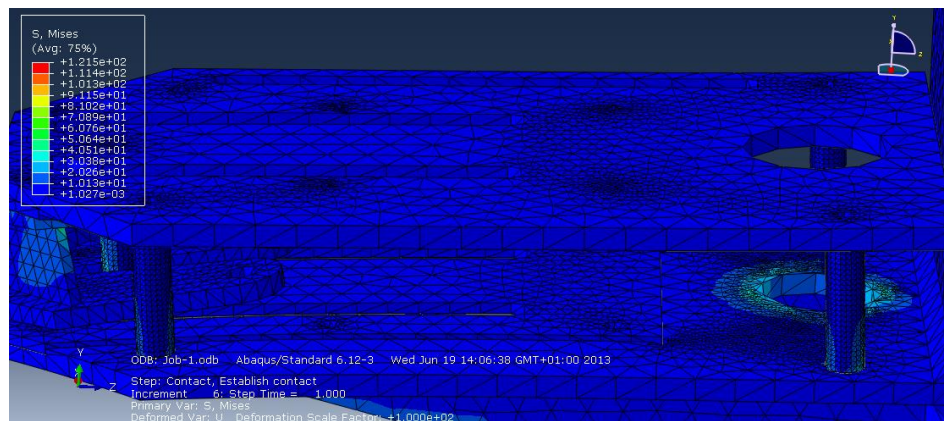


Figura 4.38 – Pontos sujeitos a maiores tensões decorrentes da 3ª simulação

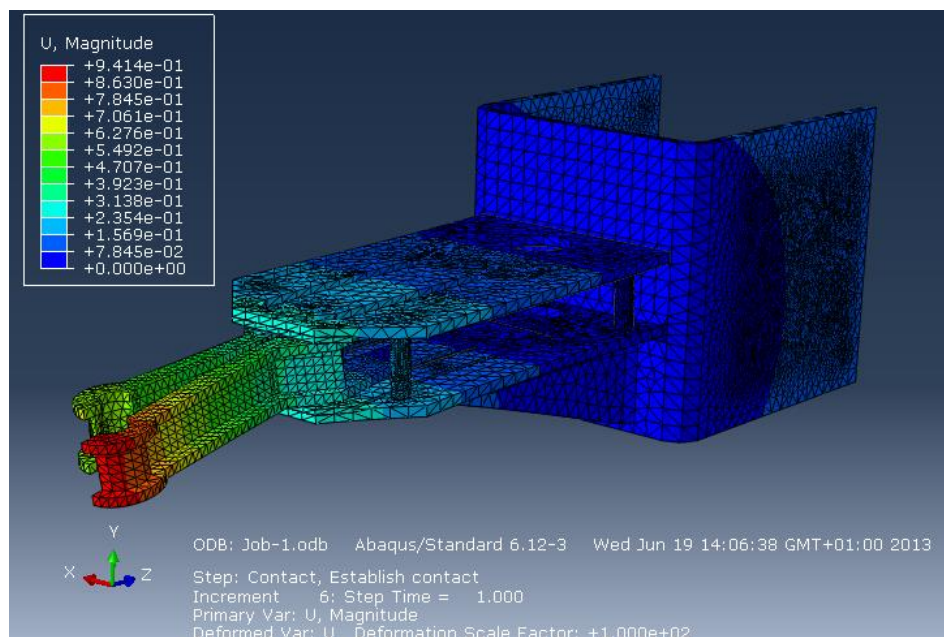


Figura 4.39 – Deslocamentos obtidos com a solicitação associada à 3ª simulação

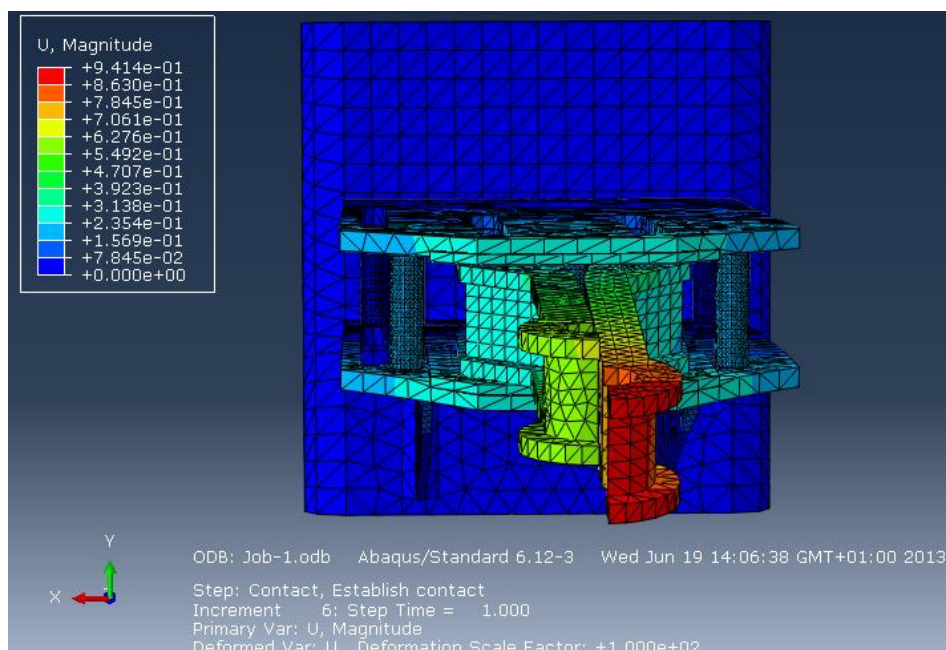


Figura 4.40 – Pormenor dos deslocamentos sofridos pela garra

Nos gráficos das Figura 4.37 à Figura 4.40 podem visualizar-se os seguintes dados:

- Tensão máxima: $\sigma \approx 40$ MPa
- Deslocamento máximo: $0,86 < \delta > 0,94$ mm

Com a 3ª simulação foi possível confirmar todas as conclusões formuladas anteriormente. No entanto, esta simulação provou-nos que a parte esquerda da garra sofrerá maiores deslocamentos do que a parte direita, mesmo quando sujeitas ao mesmo esforço. Esta conclusão provém dos dados obtidos com a 1ª simulação e é confirmada através da disparidade dos resultados entre a 2ª e 3ª. Esta diferença nas deformações deve-se, muito provavelmente, à assimetria existentes nas duas partes da garra, o furo roscado da parte direita e a assimetria das chapas de apoio, que contêm apenas rasgos do lado direito.

4.5 Projeto do espaço envolvente

4.5.1 Posto de colocação das garrafas no transportador aéreo

O posto de colocação das garrafas no transportador aéreo é o que sofrerá maiores alterações. Neste posto será necessário montar um transportador de correntes que fará o transporte das garrafas desde a saída do posto de metalização até ao local de elevação. Será necessário criar um *buffer* no qual as garrafas fiquem temporariamente armazenadas, para que um operador possa manualmente roscar as espigas às bolachas das garrafas.

Para tal, será necessário retirar do espaço atual o transportador de correntes existente e a plataforma onde o operador se situava para colocar as garrafas no transportador. As alterações necessárias encontram-se representadas na Figura 4.41.

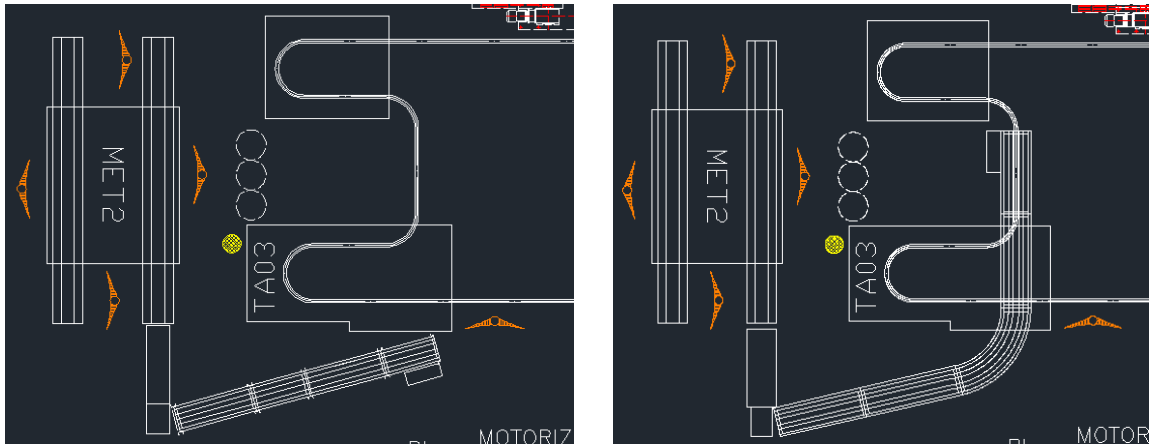


Figura 4.41 – Planta da zona de colocação de garrafas no transportador aéreo. À esquerda antes das alterações, à direita após alterações

O aspeto final do transportador pode ser visualizado na Figura 4.42.

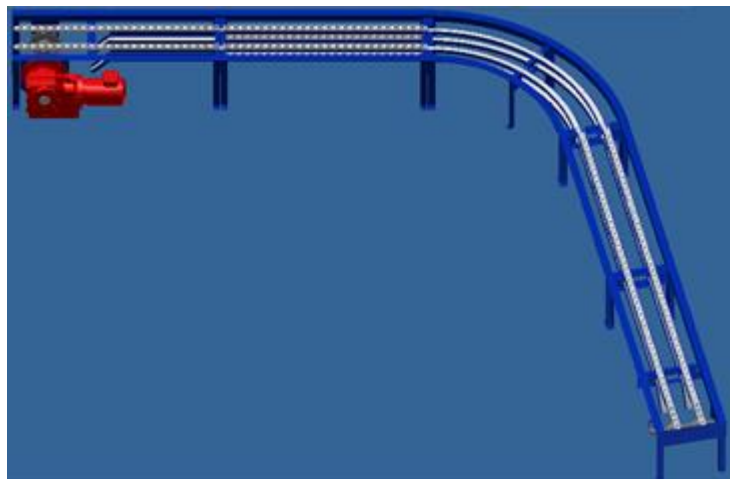


Figura 4.42 – Imagem 3D do transportador de correntes da zona de colocação das garrafas no transportador aéreo

Para a motorização do transportador seleccionou-se um motor-reductor trifásico com engrenagens cónicas, KAF77DRE90L4, com potência nominal 1,5 kW, velocidade de saída 13 rpm, e um variador de frequência MC07B0015-5A3-4-00 da SEW. A seleção do motor para este transportador de correntes baseou-se nos dados apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Parâmetros de seleção do motor-redutor do transportador de correntes

Fórmulas utilizadas		
DADOS DE ENTRADA	$L = 5250 \text{ mm}$ $5 < v < 10 \text{ m/min}$ $P_{\max} = 800 \text{ kg}$ $P_c = 8 \text{ kg/m}$ $\mu_a = 0,8$ $\Phi_{cm} = 255 \text{ mm}$	L – comprimento total do transportador v – velocidade linear P_{\max} – Peso máximo a transportar P_c – Peso da corrente μ_a – coeficiente de atrito de aço/aço (Paradigm, 2013)
PARÂMETROS DE SELEÇÃO	$Pot \geq 1,1 \text{ kW}$ $n_A \geq 12,5 \text{ rpm}$	$Pot = F \times v$ $F = m \times a + P \times \mu_a$ $n_A = \frac{v_{\max}}{\Phi_{cm}\pi}$ n_A – velocidade de saída do moto-redutor
CARACTERÍSTICAS SELECIONADAS	$Pot_{\text{motor}} = 1,5 \text{ kW}$ $\eta \approx 98 \%$ $n_M = 1430 \text{ rpm}$ $n_A = 13 \text{ rpm}$	η – rendimento do redutor de engrenagens cónicas ¹⁶ n_M – velocidade nominal do motor

Na criação do *buffer* foi utilizado um travão, acionado pneumaticamente, já utilizado noutras instalações da fábrica, posicionado em cima do transportador de correntes. Este é um travão composto por duas partes iguais, cada uma delas com um braço movimentado através de um cilindro pneumático. O seu aspeto pode ser observado na Figura 4.43. A montagem sobre o transportador encontra-se representada na Figura 4.44.

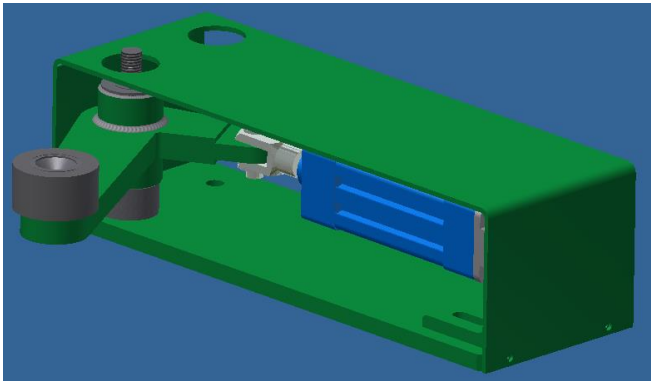


Figura 4.43 – Travão de garrafas

¹⁶ (SEW Eurodrive, 2006)

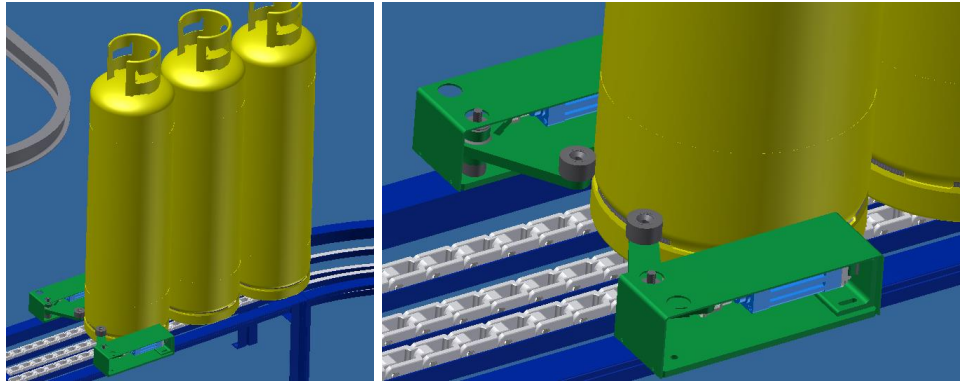


Figura 4.44 – Montagem do travão de garrafas

Para a centragem das garrafas com a garra foi necessário pensar num elemento que não só centrasse as garrafas mas que funcionasse também como travão. Este teria que ser um elemento facilmente ajustável aos diferentes diâmetros das garrafas em produção. Criou-se para o efeito um batente, montado sobre uma chapa quinada, que se encontra representado na Figura 4.45. Esta chapa contém umas abas de posicionamento sobre o transportador, para que esta não sofra nenhuma rotação quando deslocada, e um rasgo onde será apertado um parafuso, que lhe confere a flexibilidade de adaptação aos diferentes diâmetros.

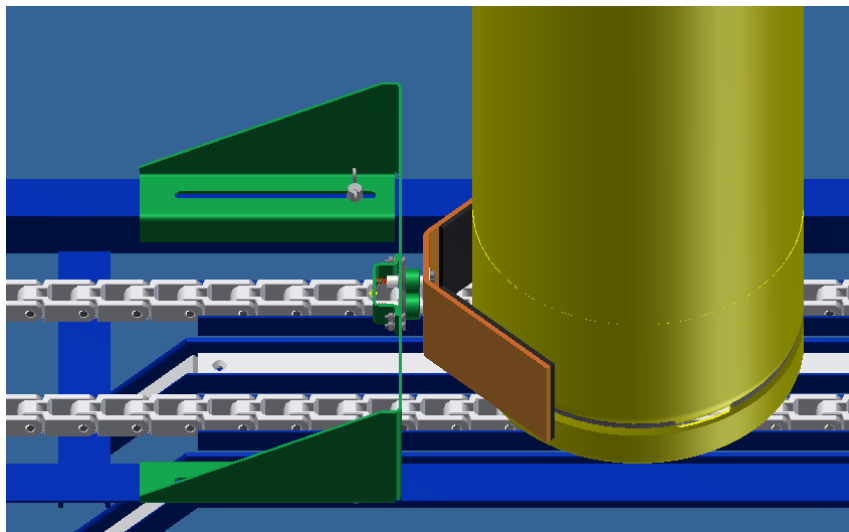


Figura 4.45 – Montagem do posicionador de garrafas sobre o transportador de correntes

Na Figura 4.46 pode-se ver um desenho 3D do posto de colocação das garrafas no transportador aéreo.

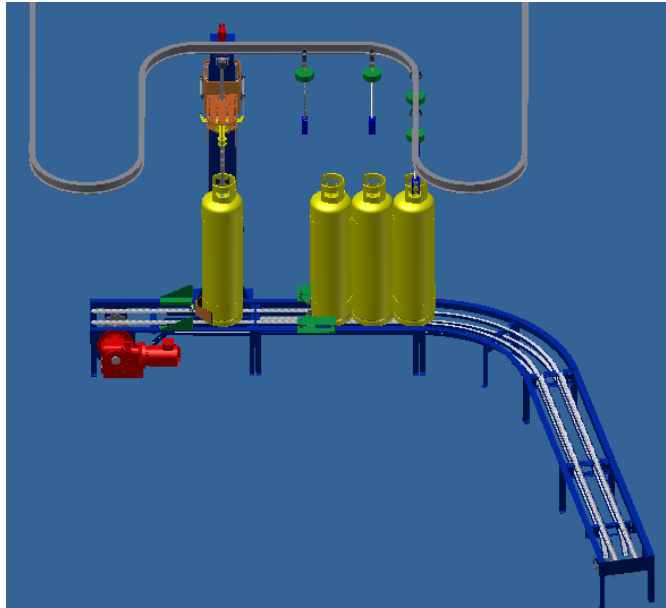


Figura 4.46 – Imagem 3D do posto onde as garrafas são colocadas no transportador aéreo

4.5.2 Posto de retiro das garrafas do transportador aéreo

As alterações no posto em que as garrafas serão retiradas do transportador aéreo passam essencialmente por um deslocamento deste. Com vista à poupança económica, pretende-se que se recicle a maior quantidade possível de perfil I e tentou-se fazer apenas uma alteração ao desvio atualmente existente. As alterações podem ser observadas na Figura 4.47.

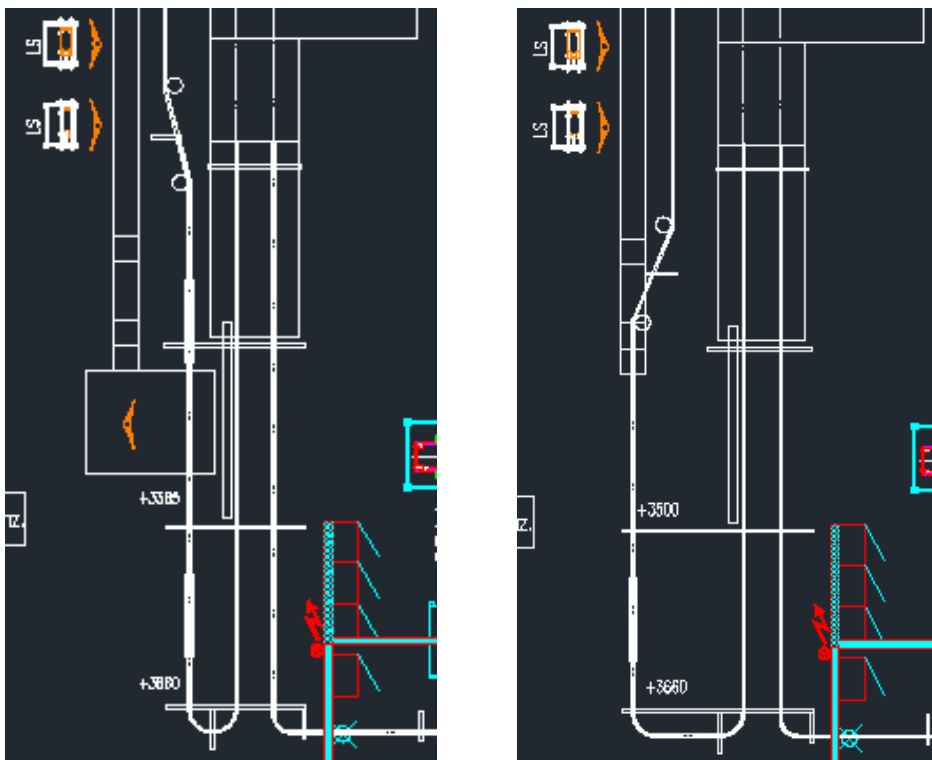


Figura 4.47 – Planta do posto em que se retiram as garrafas do transportador aéreo. À esquerda antes das alterações, à direita após alterações

No transportador de rolos já existente, foi inserido um travão, semelhante ao utilizado no posto de colocação das garrafas no transportador aéreo, também para criar um *buffer* onde o operador possa retirar as espigas das garrafas (Figura 4.48).

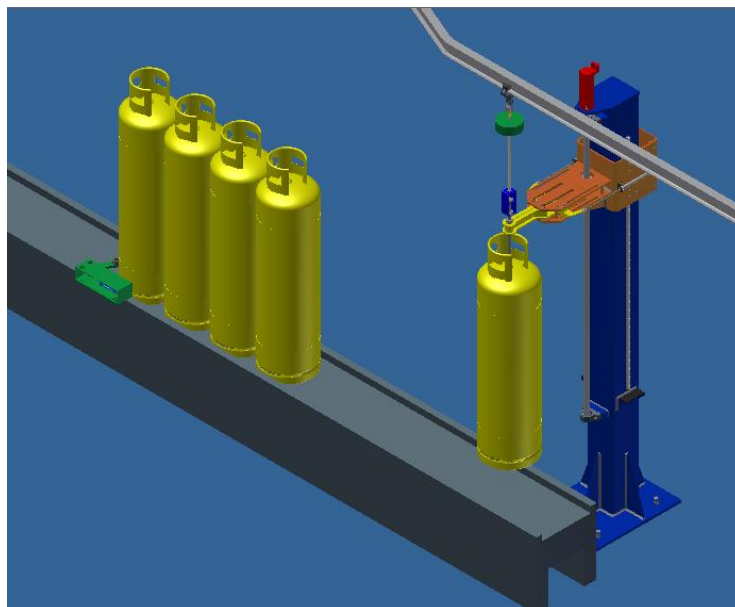


Figura 4.48 – Imagem 3D do posto onde as garrafas são retiradas do transportador aéreo

4.6 Alterações ao conjunto espiga/pendural

Com o desenvolvimento do projeto e como explicado na secção 4.3.2 *Garra* foi necessário realizar uma pequena modificação à espiga e por consequência ao pendural. A alteração à espiga refletiu-se numa diminuição ao comprimento de maior diâmetro, para ser possível a deteção do acoplamento. Foi ainda realizado um aumento em 50 mm do comprimento total, para que existisse espaço suficiente para a garra deslizar sem bater na gola da garrafa após o acoplamento – Figura 4.49. Foram, no entanto, mantidas todas as restantes dimensões definidas pela AMTROL-ALFA.

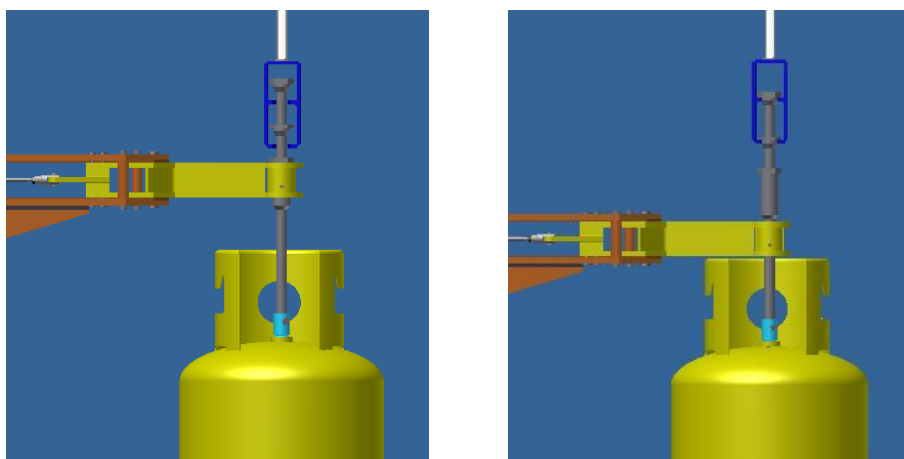


Figura 4.49 – Descida da garra para acoplamento da espiga ao pendural

Este aumento do comprimento total da espiga levou a que o pendural tivesse que ser diminuído na mesma proporção, por forma a compensar a diminuição do espaço livre abaixo da garrafa quando pendurada no transportador aéreo. Se fosse apenas aumentado o comprimento da espiga e não se diminuísse o comprimento do pendural as garrafas, depois de penduradas no transportador aéreo, acabariam por embater com o batente mecânico do transportador de correntes no posto de colocação das garrafas no transportador aéreo.

Após estas alterações, o curso de elevação das garrafas aumentou, e como tal foi necessário recalcular os ciclos de trabalho de forma a confirmar-se se os tempos de espera respeitariam os tempos de espera mínimos exigidos. Para os novos cursos a percorrer e com as velocidades de 280 mm/s e 200 mm/s para as garrafas menores e maiores conseguem-se tempos de espera de 1,6 s e 10,7 s, respetivamente. Dado estes tempos de espera serem iguais ou superiores aos tempos de espera mínimos exigidos (1,6 e 1,9 s) o processo continua a poder realizar-se com as alterações dimensionais efetuadas.

5 Automação do equipamento

Neste capítulo foi desenvolvido um processo de automatização do sistema, aplicando tecnologias que o tornam o mais automático possível e que garantem as condições de segurança necessárias aos operadores que ainda assim necessitem de acesso à zona de trabalho, quer por operarem em postos adjacentes, quer por necessidades de manutenção ou limpeza.

Para isso, após a seleção dos elementos de comando tais como controlador do servomotor e válvulas para comandar os cilindros pneumáticos, apresenta-se a seleção de todos os detores automáticos que apoiam a lógica do sistema.

Dado a segurança ser um ponto importante em qualquer máquina, foi feita uma avaliação de risco, através de um procedimento implementado na AMTROL-ALFA e procedeu-se à redução dos riscos encontrados através de medidas protetoras.

Para apoiar a programação, que não foi desenvolvida neste trabalho, desenharam-se alguns GRAFCET's funcionais que explicitam os diferentes modos de funcionamento do sistema, que serão, modo manual, modo automático e modo semiautomático. Definiram-se ainda os estados de emergência, quanto ao tipo de atuação que os impõe e ainda quanto ao funcionamento permitido após rearme.

Por fim, após definidas todas as necessidades do sistema, foi possível fazer a seleção de um autómato programável e de uma HMI e ainda desenhar esquemas do circuito elétrico.

5.1 Elementos de comando

5.1.1 Comando e Controlo do Servomotor

A escolha do *servo drive* foi inerente à escolha do próprio servomotor e recaiu sobre um MOVIDRIVE B MDX61B0005-5A3-4-00 da SEW que fará o controlo total do servomotor. Este comunicará com o autómato de forma a se conseguir a integração total das funções do sistema.

As características de relevo deste *servo drive* para as funções pretendidas são as seguintes (SEW Eurodrive, 2010):

- Opção de resistência de frenagem;
- Consumo de corrente nominal igual a 2 A e corrente máxima 4 A;
- Equipado de origem com controlo de posição e sequência de movimentos através do sistema integrado IPOS^{Plus}®;
- *Slot* para carta de comunicação opcional para integração em sistemas *Ethernet* com PROFIsafe ou em sistemas CANopen;
- Modo de controlo *Current Mode Flux Control* (CFC) que reage a mudanças de carga em poucos milissegundos;
- 8 entradas digitais isoladas;
- 6 saídas digitais, sendo uma delas por relé;
- Entradas/saídas programáveis;
- Controlo automático do freio através do inversor;
- Total de quatro rampas de transição;
- Interface RS485 para comunicação entre PLC/IPC e até 31 inversores;
- Possibilidade de registo de movimentos no inversor ou PLC externo. No caso de se utilizar o inversor é possível associar ao registo do ponto alvo a velocidade e a rampa, existindo capacidade para definir e seleccionar uma tabela até 32 posições. No caso de se utilizar um PLC para registo de movimentos apenas a posição e velocidade podem ser associadas. Associado ao registo de movimentos existem diferentes modos de operação disponíveis para controlar a máquina:
 - a) Modo de trabalho – a máquina pode ser movimentada manualmente (inversor ou PLC);
 - b) Referenciamento – o zero da máquina é determinado automaticamente por medição incremental da posição (inversor ou PLC);
 - c) Aprendizagem – as posições guardadas podem ser corrigidas sem um dispositivo de programação (apenas inversor);
 - d) Modo automático – o PLC de mais alto nível controla o processo automaticamente (inversor e PLC).

5.1.2 Válvulas direccionais e reguladores de pressão

Toda a seleção recaiu sobre válvulas de conexão sobre o corpo de 1/8 da SMC.

Pelas funções dos cilindros da garra, seleccionou-se uma eletroválvula 5/2 biestável, para comando dos dois cilindros em simultâneo, por forma a impedir que, no caso de falha de energia de comando, o cilindro retomasse a sua posição base, correndo-se o risco de largar uma garrafa. Construiu-se a Tabela 5.1 de apoio à seleção da válvula para o comando dos cilindros da garra.

Tabela 5.1 – Características de seleção da válvula de comando dos cilindros da garra

Fórmulas utilizadas		
DADOS DE ENTRADA	<p>Curso = 250 mm</p> <p>$\Phi_{emb} = 20 \text{ mm}$</p> <p>$Q_{@6bar} = 9,42 \text{ L/min}$</p>	$Q_{@6bar} = \frac{V_{cilindro}}{t_{curso}} \times 10^{-6} \times 60$ $V_{cilindro} = \frac{\pi \Phi^2}{4} \times Curso \times 2$ <p>Volume dos dois cilindros</p>
PARÂMETROS DE SELEÇÃO	<p>5/2 biestável</p> <p>Conexões sobre o corpo</p> <p>Conexão 1/8</p> <p>$Q_{al} = 65,23 \text{ NI/min}$</p>	$Q_{al} = Q_{@p_{ut}} \left(\frac{p_{ut} + p_{atm}}{p_{atm}} \right)$ <p>$p_{ut} = 6 \text{ bar}$</p> <p>$p_{atm} = 1,01325 \text{ bar}$</p>
CARACTERÍSTICAS SELECIONADAS	<p>SYJ7223</p> <p>$Q_{al} = 588,90 \text{ NI/min}$</p>	

Para limitar a força de atuação da garra de maneira a que, no caso de esta encontrar um obstáculo, não cause estragos nos cilindros ou no próprio elemento opositor ao movimento, foi necessário selecionar um regulador de pressão. A escolha recaiu sobre um regulador da série AR da SMC com corpo tamanho 20 e conexão 1/8 e com manómetro quadrado integrado – AR20-F02E – sendo este um regulador com faixa de ajuste de pressão de 0,5 a 8,5 bar. A sua montagem será feita através do conjunto de fixação AR20P-270AS. De forma a se poder ter uma força no avanço menor do que a força de aperto após o fecho da garra, acabou por se inserirem dois reguladores de pressão semelhantes, o anteriormente referido e outro regulado para 6 bar. Para se alternar entre os dois valores de pressão selecionou-se uma eletroválvula 3/2 monoestável de características semelhantes à 5/2 biestável, SYJ712 com conexão 1/8 e 490,75 NI/min. Para sinalizar a transição da alimentação de um valor inferior para os 6 bar escolheu-se um pressoestato digital de alta precisão também da SMC com conexão NPT 1/8 e saída PNP da série ISE30. O circuito pneumático de acionamento da garra pode ser encontrado na Figura 5.1.

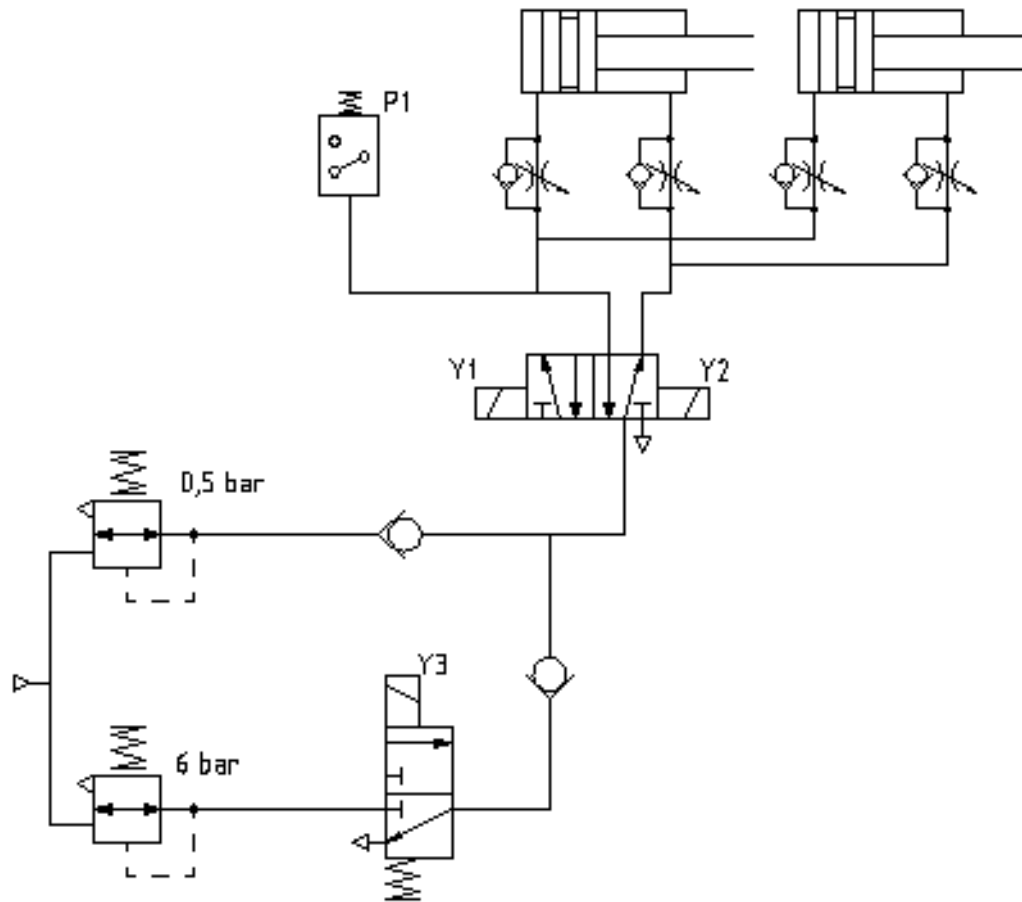


Figura 5.1 – Circuito pneumático da garra

Para os cilindros dos travões dos tapetes terrestres foi seleccionada uma eletroválvula 5/2 monoestável para que, em caso de uma falha de energia, o travão seja obrigado a fechar. Seguiram-se os passos de seleção equivalentes ao comando dos cilindros da garra e construiu-se a Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Características de seleção da válvula de comando dos cilindros do travão (Abreu, 2010)

Fórmulas utilizadas		
DADOS DE ENTRADA	Curso = 50 mm	$Q_{@6bar} = \frac{V_{cilindro}}{t_{curso}} \times 10^{-6} \times 60$
	$\Phi_{emb} = 32 \text{ mm}$	$V_{cilindro} = \frac{\pi \Phi^2}{4} \times Curso \times 2$
	$Q_{@6bar} = 4,82 \text{ L/min}$	Volume dos dois cilindros
PARÂMETROS DE SELEÇÃO	5/2 monoestável	$Q_{al} = Q_{@p_{ut}} \left(\frac{p_{ut} + p_{atm}}{p_{atm}} \right)$
	Conexões sobre o corpo	Q_{al} – caudal de ar livre
	Conexão 1/8	$p_{ut} = 6 \text{ bar}$
	$Q_{al} = 31,11 \text{ NI/min}$	$p_{atm} = 1,01325 \text{ bar}$
CARATERÍSTICAS SELECIONADAS	SYJ7123 (SMC)	
	$Q_{al} = 588,90 \text{ NI/min}$	

Para que no fecho do travão (recuo do cilindro) o braço não empurre a garrafa, seleccionou-se o mesmo regulador de pressão (AR20-F02E) para o controlo de força dos cilindros dos travões. O circuito pneumático pode ver-se na Figura 5.2.

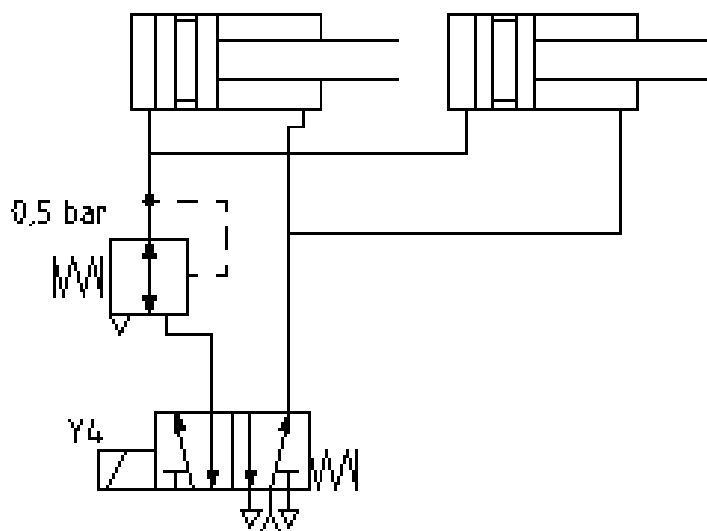


Figura 5.2 – Circuito pneumático dos travões dos transportadores téreos

5.2 Detetores

5.2.1 Sistema Principal – Servomotor e fuso

Relativamente aos elementos de elevação, ou seja ao servomotor, fuso e garra, foi necessário inserir dois detetores que identificassem os extremos do curso dos mesmos. Para o efeito, foram introduzidos dois detetores indutivos na estrutura da garra e dois batentes ajustáveis, a serem detetados, na coluna de apoio à estrutura, tal como se pode ver na Figura 5.3. Estes detetores, com contacto normalmente fechado, estarão em comunicação com o *servo drive* e farão com que o servomotor pare quando detetarem o batente, garantindo dessa forma que a estrutura da garra não embata com nenhum elemento da estrutura principal.

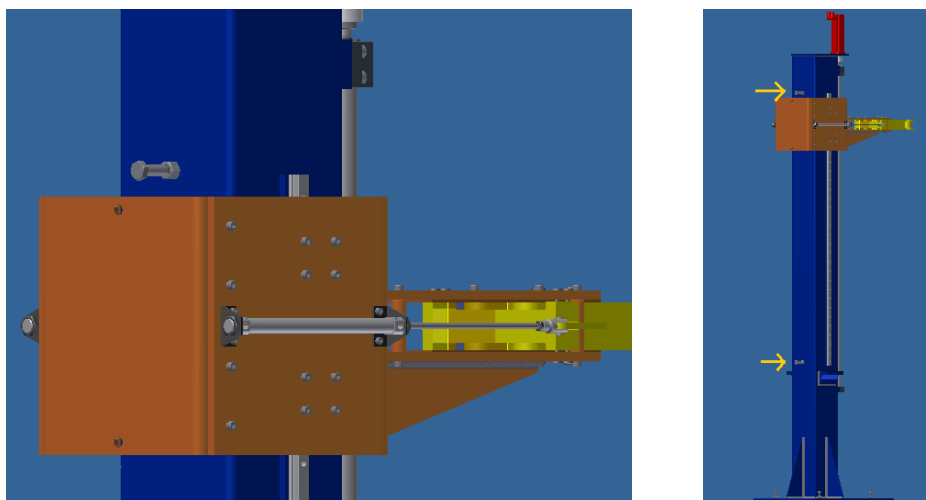


Figura 5.3 – Detetores limitadores do curso do sistema de elevação

Para o efeito foram seleccionados detetores indutivos *Schneider* de corpo longo não mergulháveis no metal, com 12 mm de alcance, de tipo 3 fios PNP, com diâmetro 18 mm e contacto normalmente fechado – XS618B4PBM12.

5.2.2 Garra

Associados aos movimentos da garra encontram-se os fim-de-curso magnéticos dos cilindros e um detetor indutivo, anteriormente referido na secção 4.3.2 *Garra*, para deteção do acoplamento e desacoplamento da espiga com o pendural. Este detetor, roscado na estrutura da parte direita da garra, detetará, através da diferença de diâmetros da espiga e na descida, que a espiga ficou acoplada ao pendural e não acompanhou a garra no movimento. O esquema da Figura 5.4 pretende demonstrar como se fará então a deteção. Já no sistema que retira as garrafas do transportador aéreo detetará a existência de uma espiga entre as duas partes da garra. Foi seleccionado um detetor de proximidade indutivo da *Schneider* mergulhável no metal, de corpo curto, do tipo 3 fios PNP, com 2,5 mm de alcance e diâmetro do corpo de 8 mm – XS108B3PAM8.

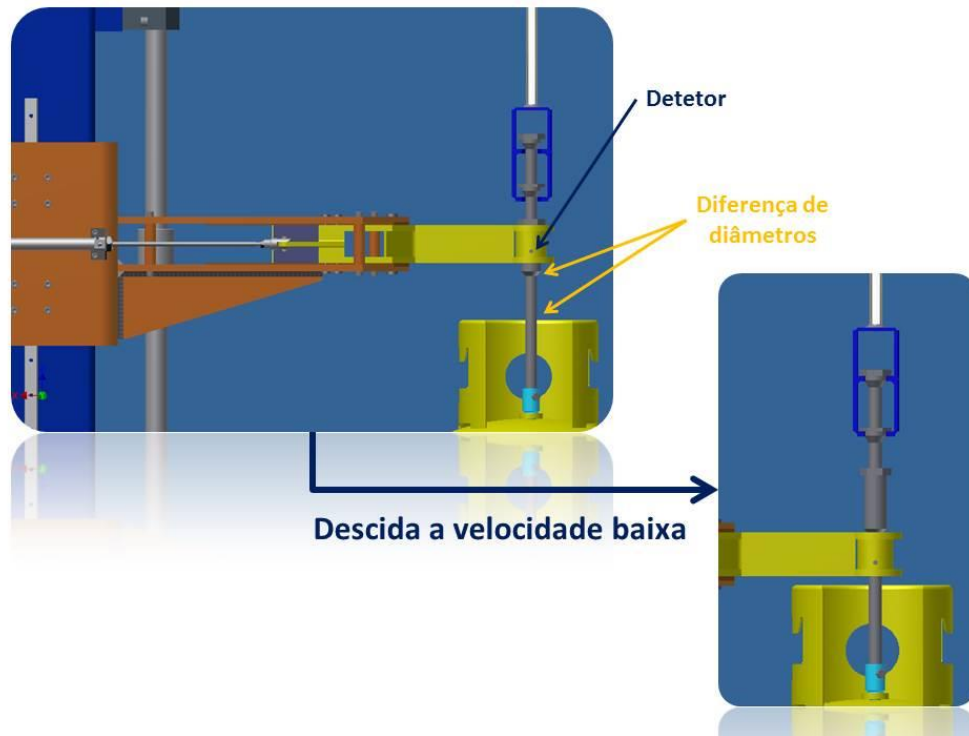


Figura 5.4 – Esquema da implementação da detecção do acoplamento

5.2.3 Transportador aéreo

No transportador aéreo apenas serão inseridos detetores fotoelétricos de reflexão para detecção das posições do pendural, dado serem de alcance médio, terem alta fiabilidade e menor custo que os detetores fotoelétricos de interrupção. Estes detetores terão como funções na zona em que as garrafas são colocadas no transportador aéreo:

- Detecção da chegada de um pendural no transportador aéreo;
- Confirmação do tempo de ciclo;
- Detecção da concentricidade da espiga com o pendural, dando sinal para que o sistema principal desça a garrafa.

Já na zona em que as garrafas são retiradas do transportador serão utilizados detetores com as seguintes funções:

- Detecção da chegada de uma garrafa a retirar do transportador;
- Detecção da concentricidade da espiga com o pendural;
- Sinal de que o pendural abandonou a zona de atuação do sistema principal e que a garrafa pode descer até ao transportador sem que a espiga fique presa no pendural.

Existirão dois detetores suplementares que detetarão uma espiga ainda acoplada ao pendural na chegada ao posto de colocação das garrafas no transportador aéreo. O primeiro detetor dará um sinal luminoso ou sonoro de aviso, para que um operador retire a espiga e a garrafa, se existir. O segundo, fará com que o transportador aéreo pare, e só será ativado no caso de, após o primeiro sinal, a espiga não ser retirada.

Estes detetores serão detetores *Schneider* XUB1BPANM12 de utilização geral, modelo M18 e metálicos. São do tipo 3 fios, PNP de emissão axial e utilizarão refletores universais sem zona cega.

5.2.4 Transportador de correntes

O transportador de correntes integra um *buffer* gerado pelo travão de cilindros pneumáticos que será comutado através dos sinais de dois detetores também fotoelétricos do tipo de reflexão semelhantes aos anteriores. O primeiro, do lado da zona onde se cria o *buffer* que sinalizará a existência de garrafas a serem colocadas no transportador aéreo e o segundo, após o travão, que sinalizará a saída de uma garrafa do *buffer* e ordenará aos cilindros que recuem, por forma a que o travão se feche e não deixe passar a garrafa seguinte.

Para além do travão encontra-se no transportador de correntes na zona de colocação das garrafas no transportador aéreo um batente, que centrará as garrafas com o sistema de elevação. Este elemento terá um movimento de pequena amplitude, devido à força provocada pela garrafa quando se encosta à chapa quinada e limitado por uma mola como se pode ver na Figura 5.5. Este movimento será sinalizado por um detetor indutivo que detetará a aproximação da chapa quinada e dará sinal ao sistema de que a garrafa se encontra pronta a ser agarrada.

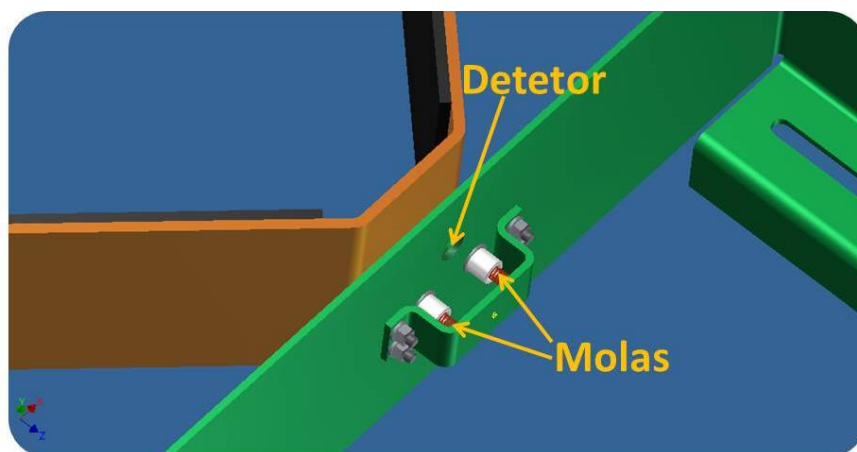


Figura 5.5 – Pormenor da localização das molas e do detetor no posicionador de garrafas

5.2.5 Transportador de rolos

O transportador de rolos receberá, como explicado na secção 4.5.2 *Posto de retiro das garrafas do transportador aéreo*, um travão semelhante ao do transportador de correntes que originará o *buffer* onde o operador retirará as espigas às garrafas. Para o seu comando será utilizado um botão de atuação manual, atuado pelo operador, que servirá para abrir o travão após o desacoplamento das espigas das garrafas. Um detetor fotoelétrico de reflexão será utilizado com a função de detetar se o *buffer* se encontra completo dando sinal para que não sejam despenduradas mais garrafas. Este sinal controlará o movimento do sistema de elevação para que fique imóvel quando o *buffer* se encontra completo, prevenindo embates entre garrafas ou elementos mecânicos e garrafas.

Na Tabela 5.3 encontra-se um resumo das principais características dos detetores selecionados e o local de aplicação de cada tipo de detetor.

No Anexo D encontram-se dois esquemas que resumem e numeram os elementos de comando e detetores a utilizar nos dois sistemas projetados.

Tabela 5.3 – Resumo das características dos detetores selecionados

Local ou locais de aplicação	Sistema principal	Transportador de correntes	Garra	Transportador aéreo, transportador de correntes e transportador de rolos
Tipo de detetor	Detetor de proximidade indutivo	Detetor de proximidade indutivo	Detetor de proximidade indutivo	Detetor fotoelétrico de reflexão
Quantidade	4	1	2	12
Referência	XS618B4PBM12	XS618B4PAM12	XS108B3PAM8	XUB1BPANM12
Diâmetro/corpo	Φ18, corpo longo	Φ18, corpo longo	Φ8, corpo curto	Não aplicável
Alcance	12 mm	12 mm	2,5 mm	4 m
Limites de Tensão	10...58 V	10...58 V	10...36 V	10...36 V
Função ¹⁷	NF	NA	NA	NA
Outros dados	Ligador M12; não mergulhável no metal	Ligador M12; não mergulhável no metal	Ligador M8, mergulhável no metal	Emissão Axial; Ligador M12; Utilização Geral; Modelo M18, metálico

5.3 Análise e procedimentos de segurança

A análise de segurança do sistema foi feita apenas para uma das fases de vida da máquina, a utilização, conduzida segundo o Procedimento Geral XX de Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos Profissionais da AMTROL-ALFA. O documento pode ser encontrado no Anexo E. Neste procedimento faz-se uma estimativa do nível de risco através da probabilidade da ocorrência de uma situação perigosa (P), da frequência da exposição à situação perigosa (E) e da severidade do dano causado pelo perigo (S). Foram deixadas de fora desta análise as fases de colocação em serviço e colocação fora de serviço e desmantelamento.

Os principais riscos decorrentes do funcionamento da máquina são:

- Aprisionamento – entre partes de um órgão mecânico, entre dois órgãos mecânicos diferentes ou entre as duas partes da garra;
- Ferimentos – ferimentos ligeiros devidos a impacto com partes da máquina como, por exemplo, a garra no avanço ou no recuo;
- Esmagamento – devido à queda de qualquer elemento mecânico sobre os pés ou as mãos ou ao aprisionamento com efeito de força;
- Ferimentos oculares – devido às impurezas carregadas no ar comprimido, no caso de fuga e contacto com os olhos;
- Queda a diferentes níveis – queda de alturas consideráveis quando for necessário montar/desmontar ou reparar detetores no transportador aéreo ou o servomotor;
- Lesões músculo-esqueléticas – devido a má posição ou manuseamento de cargas pesadas;

¹⁷ NA: objeto presente, saída ativa; NF: objeto ausente, saída ativa.

- Eletrocussão, choque elétrico ou queimaduras – devido ao contacto com a corrente elétrica.

Para o procedimento da análise de risco foram resumidos na Tabela 5.4 os limites funcionais da máquina e construídas a Tabela 5.5 à Tabela 5.7 com os riscos identificados e sua avaliação.

Tabela 5.4 – Limites funcionais da máquina em avaliação de riscos

Limites funcionais da máquina	
Velocidades máximas dos componentes mecânicos	260 mm/s e 840 rpm
Força máxima devido a energia pneumática	188,5 N
Peso máximo elemento mecânico	800 N

Tabela 5.5 – Análise de risco da fase de regulação, condução/programação ou mudança de procedimento de fabrico

Regulação, condução/programação ou mudança de procedimento de fabrico						
Uso industrial previsto	Afinação dos detetores, estranguladores e outros elementos e inserção dos dados da garrafa em produção através de interface homem-máquina					
Utilizador previsto	Técnico de manutenção ou operário de produção					
Evento/Situação perigosa	Risco	Situação de ocorrência	P	E	S	Significância
Movimentação dos órgãos mecânicos	Aprisionamento	Normal	1	6	5	30
	Ferimentos	Normal	1	6	1	18
	Esmagamento	Normal	1	6	15	90
Fuga de ar comprimido	Ferimentos oculares	Normal	0,5	5	5	45
Ajustes dos detetores	Queda a diferentes níveis	Normal	1	5	5	50

Tabela 5.6 - Análise de risco da fase de funcionamento/operação

Funcionamento/Operação						
Uso industrial previsto	Colocação automática das garrafas no transportador aéreo					
Utilizador previsto	Sem utilizador					
Evento/Situação perigosa	Risco	Situação de ocorrência	P	E	S	Significância
Movimentação dos órgãos mecânicos	Aprisionamento	Normal	1	10	5	50
	Ferimentos	Normal	1	10	1	10
	Esmagamento	Normal	1	10	15	150

Tabela 5.7 - Análise de risco da fase de limpeza, pesquisa de falhas e avarias e manutenção

Limpeza, pesquisa de falhas e avarias e manutenção						
Uso industrial previsto	Reparação de elementos mecânicos e elétricos, limpeza					
Utilizador previsto	Técnico de manutenção ou operário					
Evento/Situação perigosa	Risco	Situação de ocorrência	P	E	S	Significância
Substituição ou reparação dos elementos mecânicos	Ferimentos	Normal	1	5	1	5
	Aprisionamento	Normal	1	5	5	25
	Esmagamento	Normal	1	5	15	150
	Queda a diferentes níveis	Normal	1	5	5	25
	Lesões músculo-esqueléticas	Normal	1	5	5	25
Queda da garrafa quando elevada	Esmagamento	Normal	1	10	15	150
Fuga de ar comprimido	Ferimentos oculares	Normal	0,5	5	5	45
Contacto com a corrente elétrica	Eletrocussão	Normal	0,1	5	25	12,5
	Choque elétrico	Normal	0,5	5	15	37,5
	Queimaduras	Normal	0,5	5	5	12,5

Pela análise das tabelas percebe-se que a maioria dos riscos tem uma significância inferior a 70 e como tal são não significativos. Ainda assim, existe um risco, comum a diferentes etapas da fase de utilização da máquina, cuja significância ascende este valor e por isso foi necessário criarem-se medidas preventivas.

Para a fase de utilização torna-se essencial a construção de um gradeamento em volta do sistema que limite o acesso à zona de trabalho da máquina. Só por si, este gradeamento diminuirá significativamente os riscos associados a esta fase dado o operador perder acesso ao sistema durante a sua movimentação automática. Para aumentar a segurança, a abertura da porta do gradeamento deverá garantir que a máquina se imobilize.

A diminuição dos riscos nas fases de regulação, condução/programação ou mudança de procedimento de fabrico e manutenção e limpeza torna-se mais complicado pelo facto de o operário ou técnico necessitar de total acesso à máquina. Assim, medidas de segurança pessoal tais como, utilização de luvas de proteção, calçado de proteção antiderrapante, óculos de proteção e roupa de trabalho, terão que ser obrigatórias. Como medida de segurança coletiva deverá ser implementado um procedimento de manutenção bem divulgado. Deverá ainda utilizar-se sinalização visível sobre os riscos que não é possível eliminar.

No que toca à ergonomia do sistema, no único processo onde o trabalho manual será mantido, foi construído uma plataforma elevada, sobre a qual o operador poderá trabalhar para evitar más posturas de trabalho. Em garrafas de maior altura o operador poderá utilizar a

plataforma para ter melhor acesso à bolacha, e quando esta não for necessária pode facilmente ser posto de parte e o operador trabalhar no chão.

As montagens dos dois postos podem ser encontradas na Figura 5.6 e na Figura 5.7, já com as grades de proteção e plataforma sobre a qual o operador trabalhará.

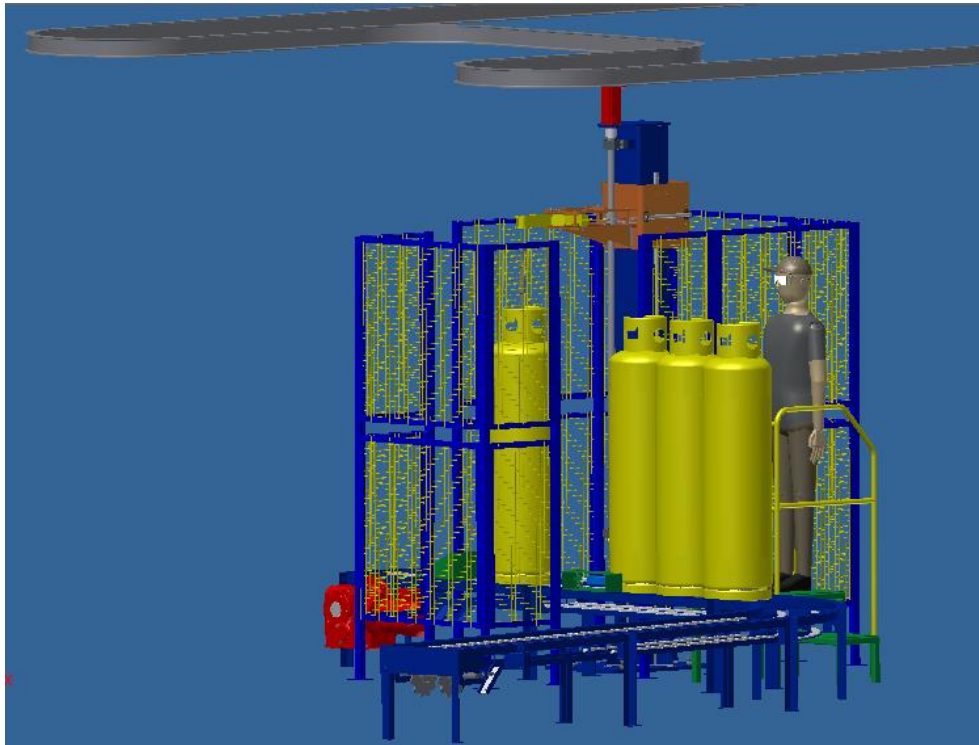


Figura 5.6 – Montagem final do posto de colocação das garrafas no transportador aéreo

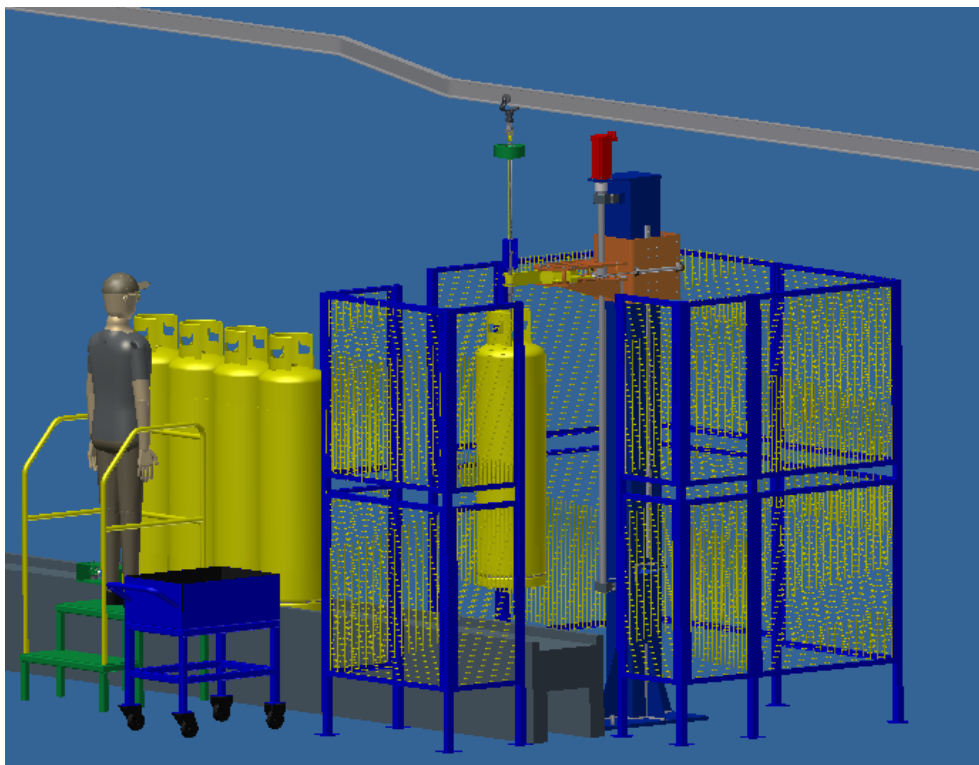


Figura 5.7 – Montagem final do posto de retiro das garrafas do transportador aéreo

5.4 GRAFCETs

O GRAFCET (*Grphe Fonctionnel de Commande Etape/Transition*) é uma metodologia de modelação de sistemas sequenciais, baseada num conceito de compreensão de um sistema complexo através da compreensão das particularidades de cada uma das suas partes e as interações resultantes da integração destas (Magalhães, 2011). Pela sua capacidade de modelar sistemas de diferentes complexidades, esta foi a metodologia utilizada para a modelação do sistema eletromecânico e pneumático do equipamento a construir.

Para mais fácil percepção dos GRAFCET's realizados apresentam-se na Figura 5.8 os pontos funcionais nos quais a máquina realizará paragens. Todos os GRAFCET's podem ser encontrados no Anexo F.

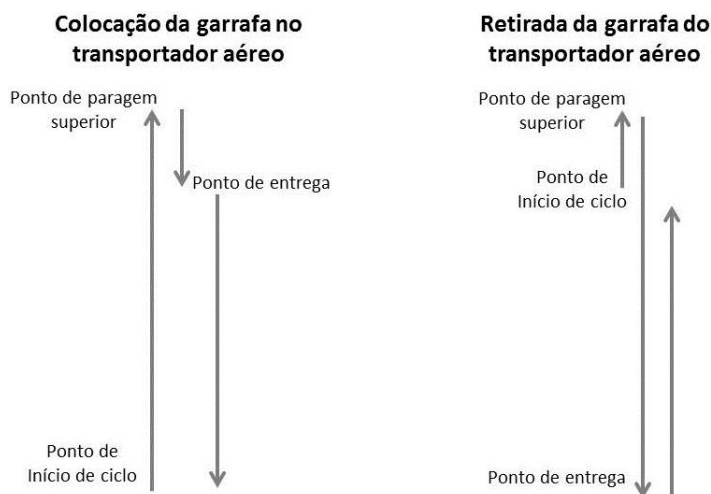


Figura 5.8 – Pontos funcionais dos ciclos de trabalho de cada um dos sistemas

5.4.1 Modos de funcionamento

Modo manual

O modo manual deverá ser seleccionado através de painel e funcionar por comando sensitivo, ou seja, deverão existir botões relativos a cada um dos movimentos que, quando premidos continuamente, acionem os elementos responsáveis pelo movimento seleccionado. A interrupção do movimento deverá ser automática quando o botão é largado ou são atingidos os detetores de fim-de-curso limitadores.

Os movimentos a permitir no modo manual serão:

- fecho da garra;
- abertura da garra;
- subida da carruagem, a velocidade constante e lenta;
- descida da carruagem, a velocidade constante e lenta.

Apenas poderá ser realizado um movimento de cada vez e, como tal, se o operador carregar simultaneamente em mais do que um botão a máquina deverá manter-se imóvel. Por

segurança, dado os cilindros da garra serem comandados por uma válvula biestável, se o operador deixar de atuar o botão antes de os detetores de fim-de-curso de avanço serem ativados os cilindros deverão recuar e nenhum comando deve ser obedecido até que o recuo esteja completo.

O modo manual terá como pré-condições de funcionamento:

- alimentação elétrica e de ar comprimido sem problemas;
- sistema em “NÃO EMERGÊNCIA”.

Para o modo funcional serão utilizados como detetores de fim-de-curso os detetores indutivos da carruagem e não os pontos funcionais que dependem do tipo de garrafa.

Este será o modo que deverá ser utilizado para operações de manutenção, quando a porta do gradeamento de segurança se encontra aberta, e todos os movimentos deverão ser feitos a velocidades baixas e com baixa capacidade de força, sempre que aplicável.

Existirá uma função, apenas disponível no modo manual, que terá como função colocar todos os elementos do sistema na sua posição de início de ciclo. Esta função terá o nome “Inicializar” e será de comando sensitivo. Quanto esta função for selecionada, todos os elementos do sistema retornarão à posição de início de ciclo, com movimentos simultâneos ou por determinada prioridade, mas só se moverão enquanto o operador carregar no botão respetivo. Quando todos os elementos se encontrarem nas suas posições respetivas de início de ciclo o sistema encontrar-se-á no estado inicializado. Esta é uma função que será especialmente utilizada após uma paragem de emergência, para que o ciclo se inicie normalmente e que não ocorram movimentos inesperados quando o estado de emergência for rearmado.

Modo semiautomático

Neste modo, também selecionado por painel, o operador ou técnico poderá conduzir a máquina através da sequência de movimentos que esta faria em modo automático, passo a passo. Apenas dará permissão ao início de cada movimento, que finalizará quer o operador se mantenha ou não a carregar no botão de permissão.

As pré-condições para o funcionamento em modo semiautomático serão:

- alimentação elétrica e de ar comprimido sem problemas;
- sistema inicializado;
- estado de “EMERGÊNCIA” não ativo

Em funcionamento semiautomático já serão utilizados os pontos de funcionamento descritos na Figura 5.8 como limitadores do curso da carruagem.

Por segurança, no caso de a porta do gradeamento se encontrar aberta, os movimentos deverão ser realizados sem garrafa na zona de trabalho e a velocidades baixas. No entanto, se esta estiver fechada as velocidades serão as permitidas em modo automático e poderão elevar-se garrafas.

Modo automático

Este modo apenas poderá ser selecionado num painel se o gradeamento se encontrar fechado e o sistema se encontrar inicializado. Trata-se do modo de funcionamento sem operador, com controlo total pelo autómato.

As suas pré-condições de funcionamento são:

- alimentação elétrica e de ar comprimido sem problemas;
- sistema em estado “NÃO EMERGÊNCIA”;
- sistema inicializado;
- grade de proteção fechada.

5.4.2 Estados de emergência

Serão considerados dois tipos de emergência na programação do sistema:

- Emergência Local – relacionada com o sistema mas que poderá afetar outros elementos da linha de acabamento;
- Emergência Global – emergências provocadas por falhas noutros elementos da linha de acabamento.

Como emergências locais serão consideradas a atuação dos botões de emergência, a atuação dos detetores que limitam o curso da carruagem e a abertura da porta da grade de proteção. Já emergências globais serão a chegada de uma garrafa pendurada ao posto de colocação das garrafas no transportador ou emergências de outros postos da linha tal como o posto de pintura.

Quando se der uma emergência local o sistema deverá ir para um modo não funcional (EMERGÊNCIA). Essa emergência deverá ser comunicada ao sistema global de controlo da linha de acabamento e só após a remoção da condição que originou a emergência poderá haver um rearme do sistema. Após o rearme este apenas poderá ser comandado em modo manual até que seja inicializado.

Como a emergência global não afeta diretamente o sistema, quando nessa condição, este poderá somente interromper o seu funcionamento de um modo seguro, até que a situação de reposição da condição de NÃO EMERGÊNCIA GLOBAL volte a ocorrer. Esta interrupção pode verificar-se pelo impedimento da continuação da sequência na transição seguinte, ou pelo recuo ao estado anterior. Quando a condição de NÃO EMERGÊNCIA GLOBAL é reposta, então a próxima transição é permitida e a sequência é continuada.

A falha de energia elétrica ou pneumática deverá ser tratada como um estado de emergência local mas com uma condição de reposição do funcionamento específica. Antes do rearme terá que se assegurar que nenhuma garrafa se encontra no espaço de trabalho do sistema.

5.5 Autómato e Interface Homem-máquina

5.5.1 PLC

A escolha do autómato prendeu-se com um dos parâmetros definidos na Especificação Técnica, de que qualquer autómato utilizado deveria ser *Schneider*. Após uma breve análise dos PLC utilizados na AMTROL-ALFA conclui-se que, por uma questão de manterem em *stock* PLCs de substituição, apenas são utilizados PLCs da gama *Modicon*, com diferentes processadores em função das exigências dos sistemas.

Para o sistema desenvolvido um PLC da gama *Twido* seria provavelmente suficiente, no entanto, não se chegou a ponderar a sua escolha, de forma a manter-se a regra de seleção de PLCs adotada pela empresa na construção das suas máquinas. Assim, a escolha do PLC recaiu sobre um autómato *Modicon M340*, com um processador BMX P34 20302, por conter portas integradas no módulo de base de rede Ethernet TCP/IP, para comunicação com a HMI, e rede CANopen para comunicar com o *servodrive*. Este trata-se de um autómato modular, que se optou por conectar a um bastidor de 6 encaixes para receber os módulos descritos na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Módulos do PLC selecionado

Qtd	Referência	Designação	Caraterísticas
1	BMX CPS 2000	Módulo de alimentação	Corrente Alternada, 100...240 V e 16,8 W
1	BMX DDI 3202K	Entradas digitais	32 entradas isoladas
1	BMX DDO 1602	Saídas digitais	16 saídas protegidas

5.5.2 HMI

A interface homem-máquina terá como principais funções funcionar como interface para a alteração dos parâmetros das garrafas em produção e para comandar a máquina nos diferentes modos de funcionamento. Através de uma HMI *STU 655* da *Schneider* serão também dados a conhecer ao operador possíveis erros do sistema para que seja mais fácil detetar avarias ou problemas de funcionamento.

As principais caraterísticas da HMI selecionada são:

- Ecrã LCD TFT QVGA de 3.5” a cores;
- Resolução de 320 x 240 pixels;
- Porta Ethernet (10 BASE-T / 100 BASE-TX).

Esquema de ecrãs

Os ecrãs aparecerão ao operador segundo o esquema representado na Figura 5.9. Os botões a amarelo apenas estarão disponíveis mediante certas condições:

- *Modo semiautomático* – fica disponível quando o sistema estiver inicializado;
- *Modo automático* – disponível desde que o sistema se encontre inicializado e a grade de proteção fechada;

- *Inicializar* – visível se existir um tipo de garrafa selecionado e o sistema tiver sofrido uma paragem inesperada, devido a um estado de emergência, por exemplo.

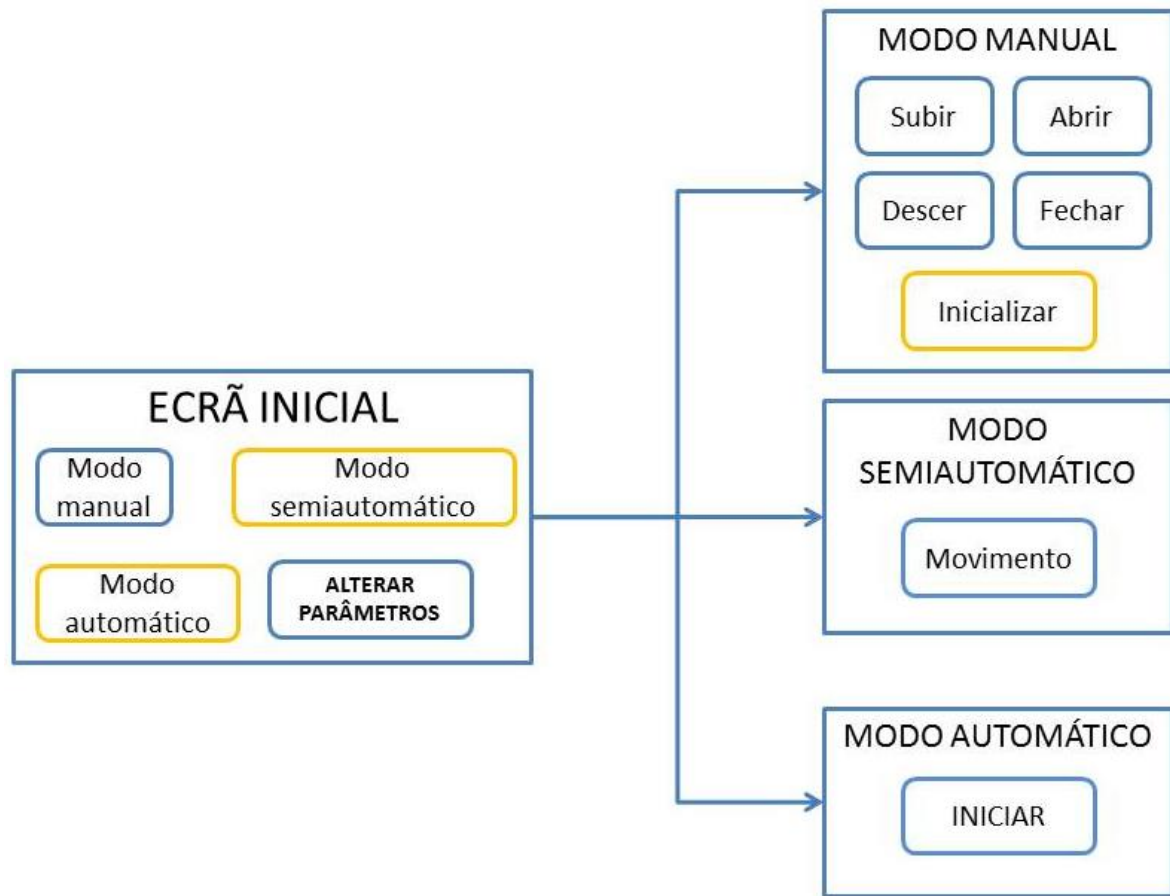


Figura 5.9 – Esquema de menus e botões da HMI

5.6 Circuito elétrico

Para a construção do quadro elétrico foi necessária a seleção de duas fontes de alimentação, uma para alimentação do circuito de potência, outra para alimentação do circuito de comando.

Esta seleção foi feita tendo em conta os consumos de corrente de cada um dos circuitos, cujos valores se encontram representados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Parâmetro de seleção das fontes de alimentação

	Fonte Potência	Fonte Comando	Fórmulas utilizadas
DADOS DE ENTRADA	Pot. solenoide: 0,35 W Qt de solenoides: 4 Consumo do pressostato: 0,045 A	Cc indutivos: 10 mA Cc fotoelétricos: 35 mA Consumo mód. entradas PLC: 2,5 mA Consumo módulo saídas PLC: 0,5 mA	Cc – consumo de corrente
PARÂMETROS DE SELEÇÃO	Necessidade de corrente para o circuito: 0,105 A	Necessidade de corrente para o circuito: 1,73 A	$P = UI$ P – potência; U - tensão I - corrente
CARACTERÍSTICAS SELECIONADAS	ABL8MEM24012 (Schneider) Entrada: ~100...240 VAC Saída: 24 VDC P ₀ : 30 W C ₀ : 1,2 A	ABL7RM24025 (Schneider) Entrada: ~100...240 VAC Saída: 24 VDC P ₀ : 60 W C ₀ : 2,5 A	P ₀ – potência nominal I ₀ – corrente nominal

A escolha dos relés de interface recaiu sobre relés extraíveis da gama Zelio Relay, pré-montados em base com LED e circuito de proteção – RSL1PVBVU.

Para a proteção do motor selecionou-se um disjuntor magneto-térmico da gama TeSys. A seleção foi feita a partir das necessidades de corrente do MOVIDRIVE e do servomotor, que no total consumirão uma corrente máxima de 25,6 A. Assim a escolha do disjuntor recaiu sobre um GV2ME32 de 15 W e disparo regulável entre 24 e 32 A.

Os esquemas do circuito elétrico podem ser encontrados no Anexo H. Na Tabela 5.10 apresenta-se uma lista de materiais e respetiva codificação.

Tabela 5.10 – Lista de códigos e funções de cada equipamento utilizado no circuito elétrico

Código	Elemento	Função	Cód Forne.
GERAL	Interruptor	Ligação da alimentação	
FA1	Fonte de alimentação	Alimentação do circuito de potência	
FA2	Fonte de alimentação	Alimentação do circuito de comando	
D1	Disjuntor unipolar magneto-térmico	Proteção do circuito a montante das fontes	
D2	Disjuntor unipolar magneto-térmico	Proteção da fonte do circuito de potência	
D3	Disjuntor unipolar magneto-térmico	Proteção da fonte do circuito de comando	
EMER	Botão de emergência	Sinalização de emergências pelo operador	
S07	Detetor indutivo	Deteção da carruagem quando esta ultrapassa o fim-de-curso superior	XS618B4PBM12
S08	Detetor indutivo	Deteção da carruagem quando esta ultrapassa o fim-de-curso inferior	XS618B4PBM12
GRD PROT.	Fim-de-curso da porta da grade de proteção	Sinalizar a abertura da porta da grade de proteção	
S14	Detetor fotoelétrico	Primeira deteção de espiga acoplada ao pendural na chegada à zona de carga	XUB1BPANM12
S15	Detetor fotoelétrico	Segunda deteção de espiga acoplada ao pendural na chegada à zona de carga	XUB1BPANM12
KV1	Relé de interface	Interface circuito de potência e circuito de comando	RSL1PVBU
KV2	Relé de interface	Interface circuito de potência e circuito de comando	RSL1PVBU
KV3	Relé de interface	Interface circuito de potência e circuito de comando	RSL1PVBU
KV4	Relé de interface	Interface circuito de potência e circuito de comando	RSL1PVBU
Y1	Solenóide	Comando do avanço da válvula 5/2 biestável do circuito da garra	
Y2	Solenóide	Comando do recuo da válvula 5/2 biestável do circuito da garra	
Y3	Solenóide	Comando da válvula 3/2 monoestável do circuito da garra	
Y4	Solenóide	Comando da válvula 3/2 monoestável do circuito dos travões	

Código	Elemento	Função	Cód Forne.
DJ1	Disjuntor magneto-térmico tripolar	Abertura e fecho do circuito, proteção contra o curto-circuito e sobrecargas	GV2ME32
K1	Relé de interface	Monitorização de estado de emergência	RSL1PVBU
K2	Relé de interface	Monitorização de estado de emergência	RSL1PVBU
K3	Relé de interface	Monitorização de estado de emergência	RSL1PVBU
K4	Relé de interface	Monitorização de estado de emergência	RSL1PVBU
K5	Relé de interface	Monitorização de estado de emergência	RSL1PVBU
K6	Relé de interface	Monitorização de estado de emergência	RSL1PVBU
KA1	Relé de interface	Monitorização da fonte do circuito de potência	RSL1PVBU
KA2	Relé de interface	Monitorização da fonte do circuito de comando	RSL1PVBU
S01	Detetor fotelétrico	Deteção da chegada de pendural ao local do acoplamento	XUB1BPANM12
S02	Detetor fotelétrico	Confirmação da realização do movimento dentro dos limites do tempo de ciclo	XUB1BPANM12
S03	Detetor fotelétrico	Deteção da concentricidade pendural/espiga	XUB1BPANM12
S04	Detetor fotelétrico	Deteção da existência de garrafas no <i>buffer</i>	XUB1BPANM12
S05	Detetor fotelétrico	Ordem de fecho do travão do <i>buffer</i>	XUB1BPANM12
S06	Detetor indutivo	Deteção de garrafa no batente responsável pela centragem	XS618B4PAM12
S13	Detetor indutivo	Deteção do acoplamento espiga/pendural	XS108B3PAM8
S09	Detetor magnético	Fim-de-curso do avanço do cilindro C1	
S10	Detetor magnético	Fim-de-curso do recuo do cilindro C1	
S11	Detetor magnético	Fim-de-curso do avanço do cilindro C2	
S12	Detetor magnético	Fim-de-curso do recuo do cilindro C2	
P1	Pressostato	Sinalização da pressão de alimentação dos cilindros da garra	ISE30

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

Com o desenvolvimento desta dissertação foi possível concluir que, não só é possível substituir os requisitos de mão-de-obra necessários na tarefa em questão, como se pode fazê-lo com uma flexibilidade adequada aos requisitos de uma linha de produção com grandes variações de produto.

Conclui-se então que será possível criar um sistema, semelhante a outros já em uso, mas adaptado às necessidades mais abrangentes da linha de acabamento da Fábrica #1. Será ainda possível, com a aplicação destes dois equipamentos, repensar os postos de trabalho associados às tarefas de colocar e retirar garrafas do transportador aéreo diminuindo, pelo menos, os riscos de lesões devidos ao manuseamento de cargas elevadas.

No entanto, não será possível, com a aplicação do sistema automático, diminuir os tempos de ciclo a fim de se aumentar a produtividade, dado estes tempos serem definidos pelos postos de pintura e estufa. Ainda assim estes ficam plenamente cumpridos segundo as especificações.

Quanto ao desenvolvimento mecânico da solução, acabou por se perceber que para as diferentes velocidades exigidas e o controlo de posição, um servomotor seria mais adequado do que um motor de ataque direto. A sua capacidade de manter o binário disponível numa larga gama de velocidades e ter integrado um *resolver* para fornecer constantemente um *feedback* de posição tornam-no mais adaptado às necessidades deste sistema.

A descoberta de uma solução de desenho da garra que permitisse a abertura da mesma sem embater nas garrafas no transportador aéreo, levou a um sistema mais facilmente adaptável a diferentes locais de funcionamento, em comparação com outros sistemas em utilização na empresa.

A análise estrutural da garra e sua estrutura de apoio permitiu concluir que estas funcionarão, mesmo para as cargas máximas, dentro do domínio linear elástico e, por isso, as peças não deformarão permanentemente nem atingirão a tensão de rutura no seu funcionamento normal. No entanto, não foi feita análise à fadiga.

Por fim, concluiu-se que a automação completa do sistema não tem altas exigências, dado apenas serem utilizadas variáveis digitais e em baixo número. O PLC selecionado é por isso de uma gama e preço intermédios.

6.2 Trabalhos futuros

Dado este sistema conter apenas um projeto de construção mecânica e um projeto de automação, um trabalho futuro óbvio seria a construção dos equipamentos, o ajustamento do projeto de automação em função de necessidades detetadas após a montagem e a programação do autómato, *servodrive* e HMI.

Poder-se-ia ainda sugerir uma otimização financeira do projeto, comparando-se vários fornecedores, métodos construtivos e materiais selecionados.

Por último, não diretamente relacionado com este trabalho, mas que poderia ter influência nas escolhas efetuadas para este sistema, poder-se-ia fazer uma otimização total da linha de acabamento, para que com a melhoria dos equipamentos se pudesse aumentar a sua produtividade.

7 Referências e Bibliografia

- Abreu, P. A. (2010). *Pneumática - Acetatos de Apoio às Aulas*. Porto, Portugal.
- Alamcinha, J. (2006). *Desenho de Construção Mecânica (1º e 2º anos - 2º semestre)*. Porto: Centro de Cópias Editorial.
- AMTROL-ALFA. (2012). *Company*. Obtido em 10 de maio de 2013, de AMTROL-ALFA: <http://www.amtrol-alfa.com/company>
- Granta Design Limited. (2012). CES EduPack 2012.
- INA Iberia, s.l. (2004). Sistemas de guiado lineal - Accesorios especiales. *Catálogo 605*. Würzburg, Alemanha: INA Iberia, s.l.
- INA Rodamientos, s.a. (maio de 2002). Husillos a bolas. *Catálogo HL*. Sant Just Desvern, Barcelona, Espanha: INA Rodamientos, s.a.
- Magalhães, A. (2011). GRAFCET. *Apontamentos de Automação e Segurança Industrial*. Porto, Portugal.
- Martins, C., & Cruz, M. (28 de novembro de 2012). Manual de Acolhimento - AMTROL-ALFA. Guimarães, Braga, Portugal: AMTROL-ALFA.
- Morais, S. (2007). *Desenho Técnico Básico*. Porto: Gráficos Reunidos, LDA.
- Motion & Control | NSK. (2013). *Ball Screw Technical Information*. Obtido em 21 de junho de 2013, de NSK Linear: http://www.nskamericas.com/cps/rde/xchg/na_en/hs.xsl/3774.html
- Paradigm. (2013). *Coefficient of Friction*. Obtido em 25 de maio de 2013, de eMachineShop - machine custom parts online: <http://www.emachineshop.com/machine-shop/Coefficient-of-Friction/page531.html>
- Rexroth - Bosch Group. (2 de julho de 2001). STAR - Husillos de bolas de precisión. *Linear Motion and Assembly Technologies*. Alemanha: Bosch Rexroth AG.
- Rolamentos FAG Ltda. (1999). Rolamentos FAG. *Catálogo WL 41 520/3 P*. Santo Amaro, São Paulo, Brasil: Rolamentos FAG Ltda.
- SEW Eurodrive. (julho de 2006). Redutores e Moto-redutores - Manual de Instruções. *Moto-redutores \ Acionamentos Eletrónicos \ Drive Automation \ Serviços*. Bruchsal, Alemanha.

SEW Eurodrive. (setembro de 2010). System Manual - MOVIDRIVE MDX60B/61B. *Drive Technology\Drive Automation\System Integration\Services*. Bruchsal, Germany: SEW Eurodrive.

8 Anexos

ANEXO A: Desenhos 2D dos sistemas já existentes na AMTROL-ALFA

ANEXO B: Desenhos de Definição de Conjunto do Sistema a Desenvolver

ANEXO C: Cálculo dos rolamentos

ANEXO D: Esquema e numeração dos detetores a integrar nas soluções

ANEXO E: Análise e avaliação de riscos

ANEXO F: GRAFCETs

ANEXO G: Esquemas elétricos